

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Damir Markučić, dipl. ing.

Student:

Bojan Iličić

Zagreb, 2014.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem prije svega svom mentoru dr. sc. Damiru Markučiću i asistentu Marku Rakvinu na strpljenju, pomoći i vodstvu pri izradi ovog završnog rada.

Zahvaljujem svojim roditeljima Ivanu i Vesni te bratu Renatu na podršci tijekom svih godina školovanja.

Također zahvaljujem djevojci, prijateljima i kolegama na pomoći tijekom studiranja.

Bojan Iličić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

Naslov rada na
engleskom jeziku:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

Zadatak zdao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA.....	V
SAŽETAK.....	VI
1. UVOD.....	1
1.1. Nerazorne metode ispitivanja materijala.....	1
1.2. Površinske metode.....	1
1.2.1. Ispitivanje penetrantima.....	1
1.2.2. Ispitivanje magnetnim česticama.....	2
1.3. Volumne metode.....	3
1.3.1. Ispitivanje ultrazvukom.....	3
1.3.2. Radiografsko ispitivanje.....	4
1.4. Dvije posebno izdvojene metode.....	5
1.4.1. Termografija.....	5
1.4.2. Vizualno ispitivanje.....	5
2. VIZUALNA METODA.....	6
2.1. Osnove vizualne metode.....	6
2.2. Fizikalne osnove vizualne metode ispitivanja.....	7
2.2.1. Elektromagnetsko zračenje - svjetlost.....	7
2.2.2. Boje.....	8
2.2.3. Osnovni zakoni svjetlosnih pojava.....	9
2.2.3.1. Zakon pravocrtnog širenja svjetlosti.....	9
2.2.3.2. Zakon o nezavisnosti snopova svjetlosti.....	9
2.2.3.3. Zakon refleksije svjetlosti.....	9
2.2.3.4. Zakon refrakcije svjetlosti.....	9
2.3. Razlučivost.....	10
2.4. Dubinska oštrina.....	10
2.5. Ispitivanje razlučivosti i dubinske oštrine optičkih uređaja.....	11
2.5.1. Resolution chart (grafikon razlučivosti).....	11
2.5.2. Siemens star.....	11
3. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE.....	12
3.1. Priprema ispitivanja.....	12
3.1.1. Oprema za ispitivanje.....	12
3.1.2. Digitalna izrada ispitnih uzoraka (etalona).....	13
3.1.3. Digitalna izrada podloga za etalone.....	15
3.1.4. Printanje i ispitivanje točnosti etalona.....	15
3.1.5. Program za obradu podataka.....	16
3.2. Usporedna vizualna ispitivanja.....	17
3.2.1. Udaljenost od ispitnog uzorka.....	17
3.2.2. Kut gledanja ispitnog uzorka.....	20
3.2.3. Kontrast podloge i ispitnog uzorka.....	25
3.2.4. Razina osvijetljenosti ispitnog uzorka.....	29
3.2.5. Ispitivanje kvalitete leće.....	32
4. ZAKLJUČAK.....	37
5. LITERATURA.....	38

POPIS SLIKA

Slika 1. Postupak ispitivanja penetrantima.....	1
Slika 2. Ispitivanje magnetskim česticama.....	2
Slika 3. Ispitivanje ultrazvukom.....	3
Slika 4. Postupak radiografskog ispitivanja.....	4
Slika 5. Termografija.....	5
Slika 6. Vizualno ispitivanje.....	5
Slika 7. Vrste elektromagnetskih zraka.....	7
Slika 8. Valne duljine boja.....	8
Slika 9. Zakon refleksije.....	9
Slika 10. Zakon refrakcije.....	9
Slika 11. Resolution chart.....	11
Slika 12. Siemens star.....	11
Slika 13. Canon 350d.....	12
Slika 14. Referentni etalon broj 1.....	13
Slika 15. Referentni etalon broj 2.....	14
Slika 16. Referentni etalon broj 3.....	14
Slika 17. Referentni etalon broj 4.....	14
Slika 18. Specifikacije printera.....	15
Slika 19. Ispitivanje etalona mjernom lupom.....	15
Slika 20. Primjer rada u ISee programu.....	16
Slika 21. Položaj fotoaparata i ispitnog uzorka.....	17
Slika 22. Ispitivanje parametra udaljenosti 500 mm.....	17
Slika 23. Ispitivanje parametra udaljenosti 700 mm.....	18
Slika 24. Prikaz rezultata ispitivanja udaljenosti.....	19
Slika 25. Prikaz rezultata pojedinačnih linija.....	19
Slika 26. Prikaz gradijenta.....	20
Slika 27. Ispitno područje (90°).....	21
Slika 28. Rezultati ispitivanja 90° (ZONA 1).....	21
Slika 29. Rezultati ispitivanja 90° (ZONA 2).....	21
Slika 30. Rezultati ispitivanja 90° (ZONA 3).....	21
Slika 31. Ispitno područje (60°).....	22
Slika 32. Rezultati ispitivanja 60° (ZONA 1).....	22
Slika 33. Rezultati ispitivanja 60° (ZONA 2).....	22
Slika 34. Rezultati ispitivanja 60° (ZONA 3).....	22
Slika 35. Ispitno područje (30°).....	23
Slika 36. Rezultati ispitivanja 30° (ZONA 1).....	23
Slika 37. Rezultati ispitivanja 30° (ZONA 2).....	23
Slika 38. Rezultati ispitivanja 30° (ZONA 3).....	23
Slika 39. Ovisnost gradijenta o smanjenju kuta.....	24
Slika 40. Dijagrami pada gradijenta s obzirom na smanjenje kuta.....	24
Slika 41. 0% sive.....	25
Slika 42. Rezultati ispitivanja pixela za 0 % sive.....	25
Slika 43. 18% sive.....	26
Slika 44. Rezultati ispitivanja pixela za 18% sive.....	26
Slika 45. 50% sive.....	27
Slika 46. Rezultati ispitivanja pixela za 50% sive.....	27

Slika 47. Promjena CNR-a s smanjenjem kontrasta.....	28
Slika 48. Ispitno područje ispitivanja razine osvjetljenosti.....	29
Slika 49. Rezultati za razinu osvjetljenja 440 lx.....	29
Slika 50. Rezultati za razinu osvjetljenja 140 lx.....	30
Slika 51. Rezultati za razinu osvjetljenja 83 lx.....	30
Slika 52. Rezultati za razinu osvjetljenja 53 lx.....	30
Slika 53. Rezultati za razinu osvjetljenja 39 lx.....	31
Slika 54. Promjena CNR-a s porastom razine osvjetljenja.....	31
Slika 55. Podjela referentnog etalona po zonama.....	32
Slika 56. Zona 1.....	33
Slika 57. Zona 2.....	33
Slika 58. Zona 3.....	33
Slika 59. Zona 4.....	34
Slika 60. Zona 5.....	34
Slika 61. Zona 6.....	34
Slika 62. Zona 7.....	35
Slika 63. Zona 8.....	35
Slika 64. Zona 9.....	35
Slika 65. Prikaz rezultata promjene gradijenta po zonama.....	36

POPIS TABLICA

Tablica 1. Upotreba referentnih etalona.....	15
Tablica 2. Rezultati ispitivanja parametra udaljenosti.....	18
Tablica 3 Rezultati ispitivanja parametra kuta.....	23
Tablica 4. Rezultati ispitivanja kontrasta podloge i ispitnog uzorka.....	28
Tablica 5. Rezultati ispitivanja razine osvjetljenja.....	31
Tablica 6. Rezultati ispitivanja kvalitete leće.....	36

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
t	s	Vrijeme
L	m	Udaljenost
β	°	Kut
E_v	lx	Osvjetljenost
λ	m	Valna duljina
f	Hz	Frekvencija
c	m/s	Brzina svjetlosti
DPI	-	Broj točkica po kvadratnom inču, razlučivost
Px	-	Broj točkica od koji je sastavljena slika, razlučivost
F	m	Žarišna duljina leće
I_{pix}	-	Intenzitet piksela
grad	°	Brzina promjene
K	-	Kontrast
SNR	-	Odnos signal šum
CNR	-	Odnos kontrast šum

SAŽETAK

U ovom radu detaljno je opisan postupak vizualnog ispitivanja s posebnim naglaskom na posrednu tehniku ispitivanja te su opisane fizikalne osnove metode koje bi trebalo znati prilikom provođenja vizualnih ispitivanja u cilju osiguranja kvalitete ispitivanja, kako sa stanovišta ponovljivosti tako i sa stanovišta karakterizacije ispitne opreme. Svrha laboratorijskih ispitivanja bila je odrediti utjecajne parametre pri vizualnoj kontroli. Zbog toga osmišljeni su i izrađeni etaloni pomoću kojih su se ocjenjivale karakteristike optičkog sustava za vizualnu kontrolu. Kao karakterizirani optički sustav koristio se digitalni fotoaparat koji predstavlja analogiju sa videoskopskim i ostalim optičkim uređajima koji se često koriste pri posrednoj vizualnoj kontroli. Na temelju analize rezultata odaziva pri različitim postavkama sustava (kut promatranja, udaljenost promatranja...) i okolnim uvjetima (osvjetljenje) razmatrani su utjecajni faktori na kvalitetu signala kao i mogućnosti samog sustava. Ujedno je i predložen način karakterizacije optičkog sustava u pogledu postizive razlučivosti.

Ključne riječi: vizualno ispitivanje; utjecajni parametri; etaloni; optički sustav; razlučivost

1. UVOD

1.1. Nerazorne metode ispitivanja materijala

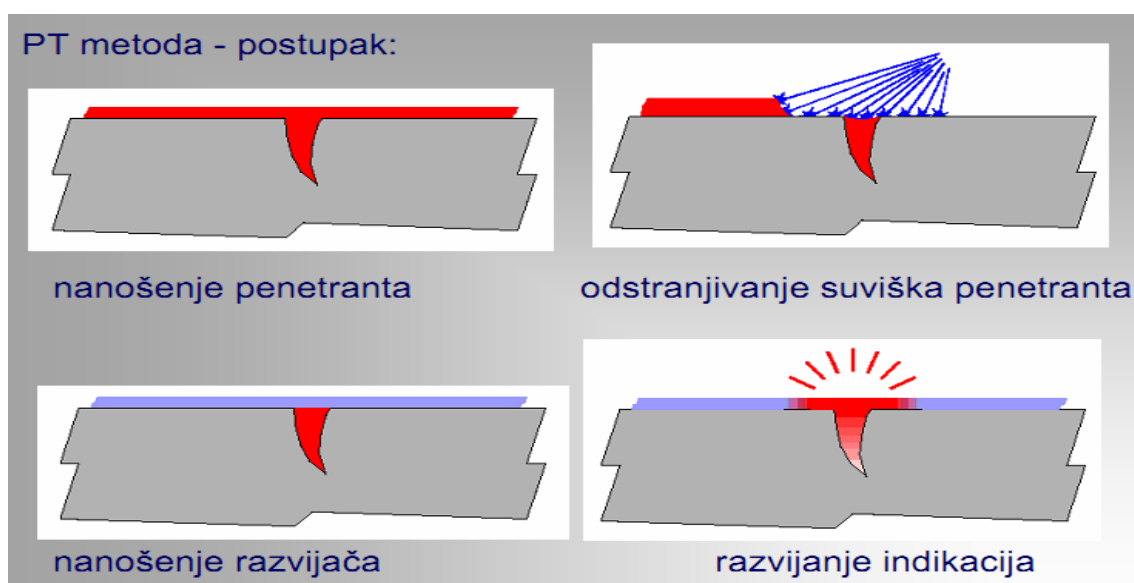
NDT (nondestructive testing) su metode ispitivanja materijala bez razaranja. Proizvodi i materijali se ispituju i mjere tako da pri tome ne budu oštećeni. Time se osigurava balans između kontrole kvalitete i kontrole troškova. S obzirom na način ispitivanja ndt metode dijele se na :

- a) Površinske metode
- b) Volumne metode
- c) Posebno izdvojene metode

1.2. Površinske metode- detekcija površinskih nepravilnosti

1.2.1. Ispitivanje penetrantima (PT)

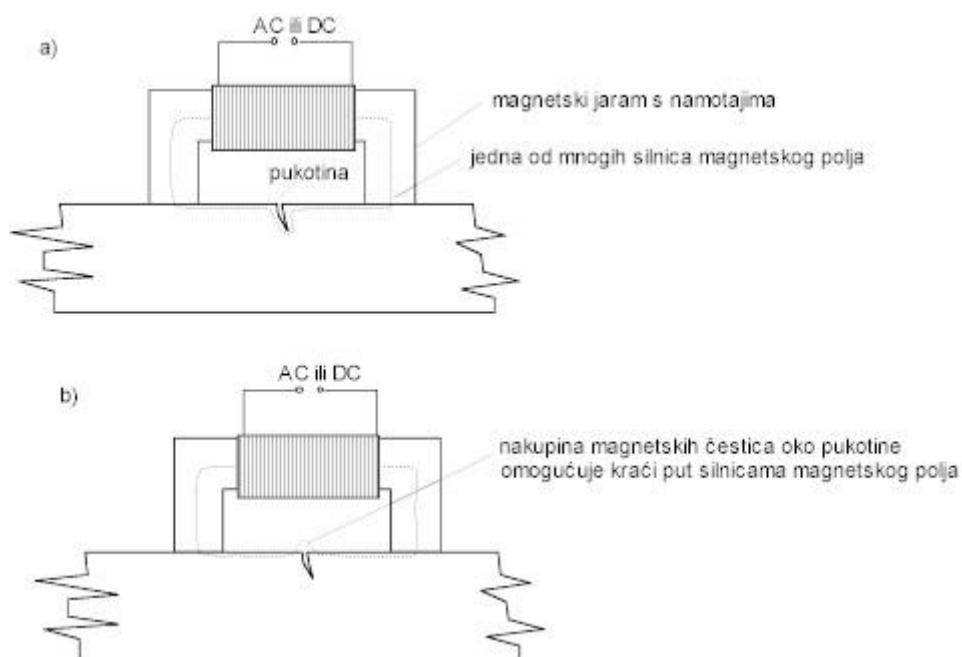
Na prethodno očišćenu i odmašćenu površinu nanosi se penetrant. Nakon penetriranja u eventualnu pukotinu (5-60 min), odstranjuje se višak penetranta. Nakon sušenja površine lima, nanosi se razvijač (vrijeme razvijanja 10-30 min), koji izvlači penetrant iz pukotine, pa je na površini lima lako uočljiva linija od penetranta iz pukotine. Kod tanjih limova na jednu se stranu nanosi penetrant, a na drugu razvijač. Ukoliko postoji pukotina kroz cijelu debljinu lima, tada će razvijač izvući penetrant na svoju stranu, što će se detektirati kao lako uočljiva linija od penetranta iz pukotine na površini lima. Ovom je metodom moguća detekcija pukotine, ali ne i dimenzije i ostale karakteristike pukotine.



Slika 1. Postupak ispitivanja penetrantima [2]

1.2.2. Ispitivanje magnetnim česticama (MT)

Koristi se za otkrivanje površinskih i potpovršinskih grešaka (približno do dubine 6 mm) kod feromagnetičnih materijala. Zasniva se na principu magnetske indukcije. Oko vodiča kroz koji prolazi električna struja (magnetski jaram, magnetske elektrode) formira se magnetsko polje (istosmjerne ili izmjenične struje), čije silnice, po pravilu desne ruke, prolaze između ostaloga i kroz feromagnetični materijal koji se ispituje, odnosno koji je u kontaktu s magnetskim jarmom ili magnetskim elektrodama. Da bi se otkrila pukotina potrebno je da smjer silnica magnetskog polja bude što više okomito na pukotinu. Pospu li se magnetske čestice po površini ispitivanog materijala, ako postoji pukotina okomito na smjer prolaska silnica magnetskog polja, sitne čestice će se okupiti oko pukotine. Ova je metoda kontrole kvalitete jeftina i brza, ali ima ograničenje s obzirom na ne feromagnetične materijale, greške duboko ispod površine, te nemogućnost određivanja dubine pukotine koja je otkrivena kod feromagnetičnih materijala

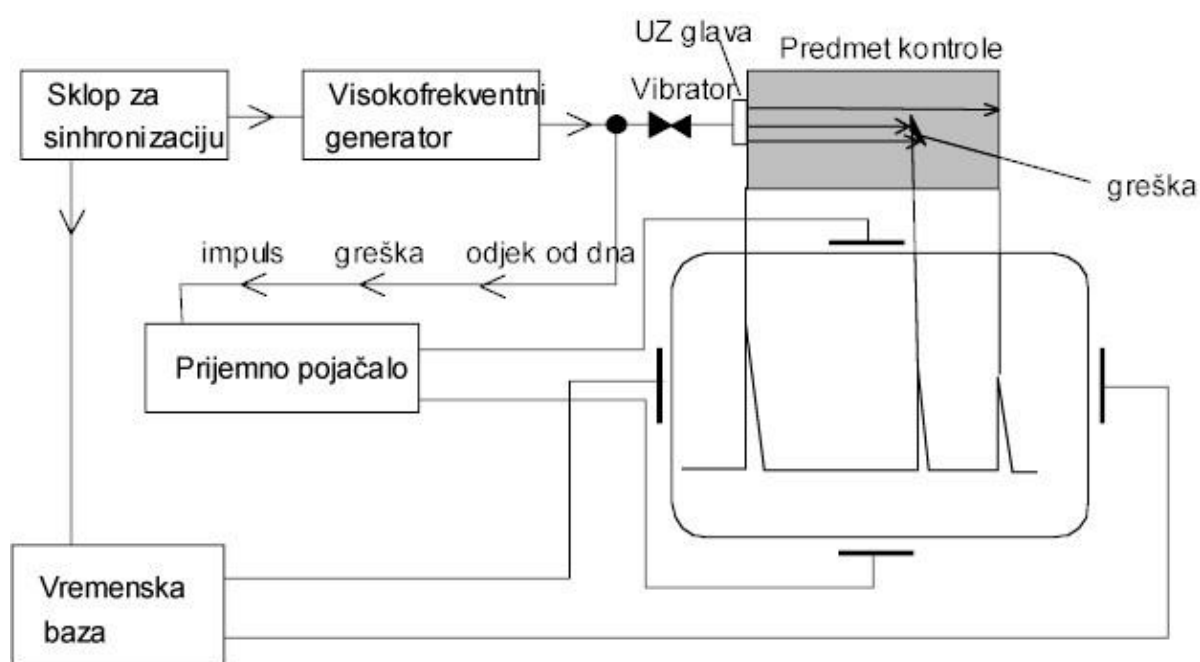


Slika 2. Ispitivanje magnetskim česticama [2]

1.3. Volumne metode- detekcija nepravilnosti u materijalu

1.3.1. Ispitivanje ultrazvukom (UT)

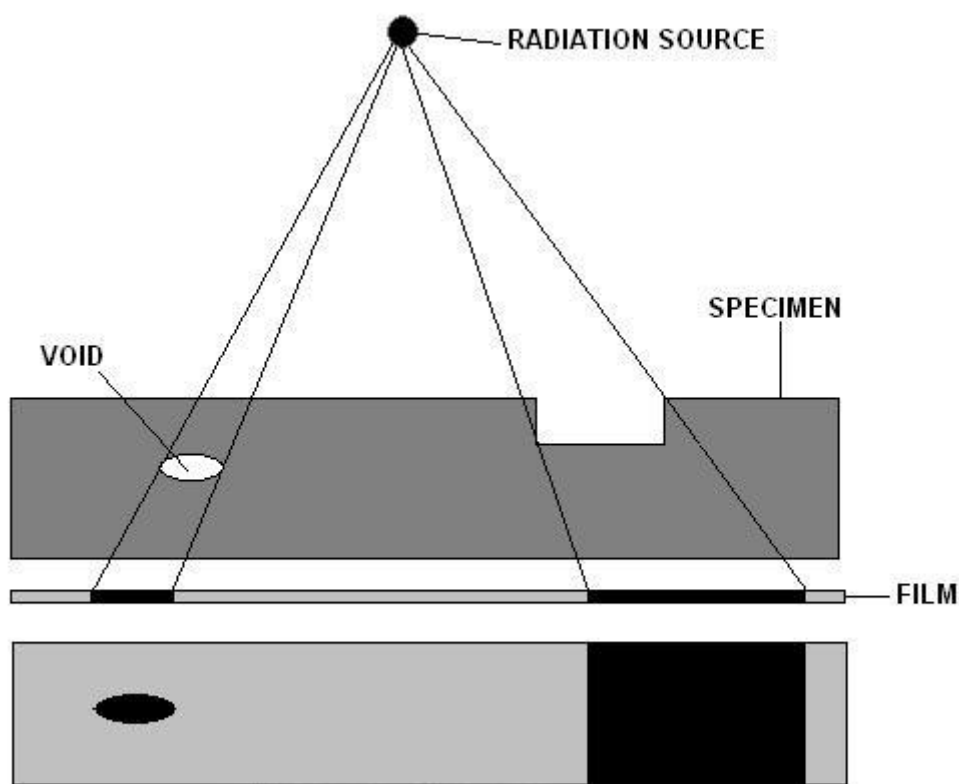
Zasniva se na svojstvu ultrazvučnih valova da se šire kroz homogene materijale i da se odbija na granici materijala različitih akustičkih osobina, odnosno od nehomogenosti (grešaka) u materijalu. Od izvora ultrazvuka šire se ultrazvučni valovi kroz materijal koji se kontrolira. Ako u materijalu postoji greška, iza nje će, ovisno o vrsti greške, ultrazvučni valovi oslabiti ili se neće pojaviti (odbiju se od greške). Ultrazvuk je vrsta mehaničkih valova frekvencije veće od 20 KHz, a kod ispitivanja materijala najčešće se koriste frekvencije od 1 MHz do 20 MHz. Metoda prikladna za otkrivanje grešaka tipa pukotina (ravninske ili planarne greške), ovom je metodom moguće detektirati i druge greške (uključke troske, plinske mjehuriće, mjehuriće u nizu)



Slika 3. Ispitivanje ultrazvukom [2]

1.3.2. Radiografsko ispitivanje

Pri kontroli kvalitete metodama prozračivanja u praksi koriste se rendgenske zrake ili gama zrake. Rendgenske zrake nastaju pri naglom kočenju ubrzanog snopa elektrona na metalnoj ploči (antikatodi u rendgenskoj cijevi), dok gama zrake nastaju prilikom spontanog raspada nestabilnih atomskih jezgri (prirodnih radioaktivnih materijala i radioaktivnih izotopa). Oba su zračenja u biti elektromagnetska zračenja. Rendgenske i gama zrake ostavljaju trag na filmskoj emulziji (industrijske folije), na čemu se i zasniva radiografska kontrola i ispitivanje grešaka u unutrašnjosti materijala.

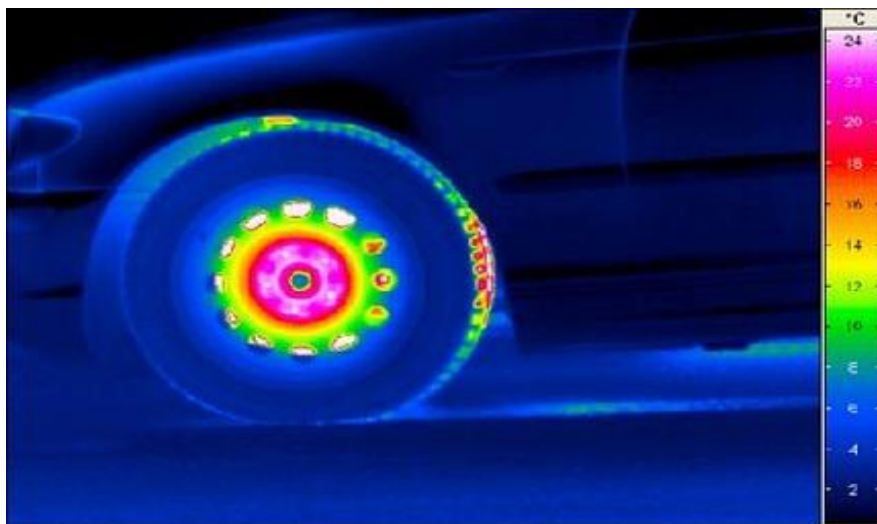


Slika 4. Postupak radiografskog ispitivanja [3]

1.4. Dvije posebno izdvojene metode:

1.4.1. Termografija (IR)

Infracrvena termografija je tip znanosti infracrvenog snimanja. Termografske kamere opažaju zračenje u infracrvenom pojasu elektromagnetskog spektra (0,9 - 14 mikrometara) i stvaraju snimke tog zračenja koje nazivamo termogramima.



Slika 5. Termografija [4]

1.4.2. Vizualno ispitivanje (VT)

Prije bilo koje druge metode kontrole materijala, primjenjuje se vizualna kontrola. Ta metoda kontrole relativno je jeftina, ne oduzima puno vremena, a može dati vrlo korisne informacije o površini promatranog predmeta.



Slika 6. Vizualno ispitivanje [5]

2. VIZUALNA METODA

2.1. Osnove vizualne metode

Najstarija i najosnovnija metoda kontrole bez razaranja. Predstavlja promatranje proizvoda s ciljem otkrivanja vidljivih nesavršenosti površine. Koristi se za otkrivanje niza površinskih grešaka kao što su korozija, kontaminacija, završna obrada površine, te površinskih grešaka spojeva, a većinom se koristi za preventivnu ulogu te se može upotrebljavati sa svim ostalim ndt metodama.

Kvaliteta vizualnog pregleda je primarno određena:

- kvalitetom detektora (oka ili kamere),
- uvjetima osvjetljenja,
- sposobnošću obrade vizualnih podataka,
- stupnjem izobrazbe i pozornosti detaljima.

Postoje dvije tehnike provođenja vizualne kontrole:

- direktna tehnika,
- posredna tehnika (RVI)

Direktna tehnika se koristi za pregled kod kojeg ima dovoljno prostora da se oko približi na 600 mm od površine koja se pregledava, te pod kutem ne manjim od 30° u odnosu na površinu. Ukoliko se zahtjevi ne mogu zadovoljiti koristi se posredna tehnika vizualne kontrole koja se provodi pomoću optičkih pomagala.

Zahtjev osvjetljenosti ispitne površine pri vizualnoj kontroli je minimalno 500 lx. Osvjetljenost je važna za detekciju, diskriminaciju i prepoznavanje detalja na površini, a opada s kvadratom udaljenosti izvora svjetla od osvjetljene površine.

2.2 Fizikalne osnove vizualne metode ispitivanja

2.2.1. Elektromagnetsko zračenje – svjetlost

Elektromagnetsko zračenje možemo predložiti kao roj čestica koje se nazivaju fotoni. Svaki foton nosi određenu količinu energije. Cjelokupni raspon zračenja koje nastaje u svemiru nazivamo elektromagnetski spektar.

Vrste elektromagnetskog zračenja:

- gama zračenje (γ -zrake)
- rendgensko zračenje (X-zrake)
- ultraljubičasto zračenje
- vidljivo zračenje (svjetlost)
- infracrveno zračenje
- mikrovalno zračenje
- radiovalovi

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje je vidljivo ljudskom oku. Ljudsko oko u prosjeku može vidjeti svjetlost s valnom duljinom u rasponu od 380 do 770 nm. Elektromagnetska zračenja uzajamno se razlikuju jedino frekvencijom. Svjetlost nastaje kada se električni naboji kreću u elektromagnetskom polju. Atom odašilje svjetlost kada je neki od njegovih elektrona potaknut dodatnom energijom izvana. Zračenje pobuđenih elektrona predložavamo valom. Svjetlost manje energije ima manju učestalost ili frekvenciju, ali veću valnu duljinu, a ona s više energije ima veću frekvenciju ali manju valnu duljinu.

- valna duljina = brzina svjetlosti / frekvencija

Brzina svjetlosti, kao i svih ostalih elektromagnetskih valova, u vakuumu iznosi

$$299\,792\,458 \text{ m/s}$$

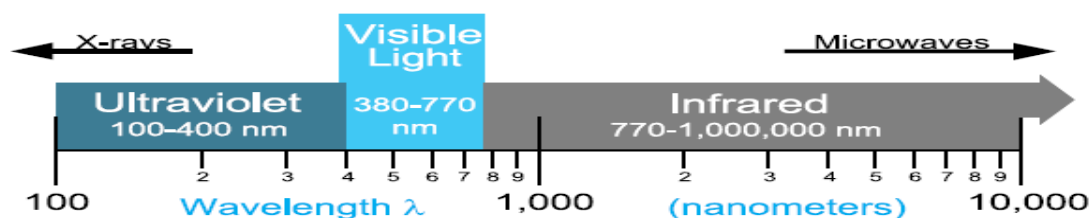


Fig. 1.1 The optical portion of the electromagnetic spectrum

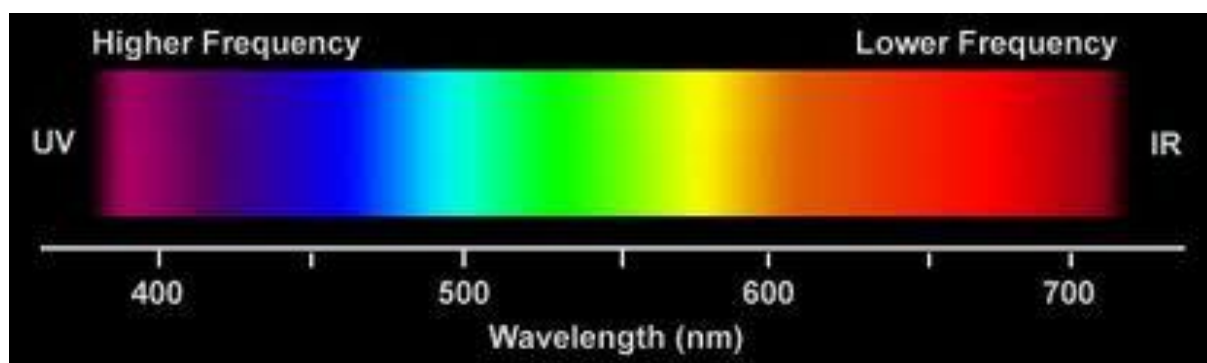
Slika 7. Vrste elektromagnetskih zraka [1]

2.2.2. Boje

Ljudsko oko reagira samo na vrlo ograničeni raspon valnih duljina, na vidljivu svjetlost. Međutim, ono odlično raspoznaje i vrlo male razlike unutar tog raspona. Te male razlike nazivamo boje. Boje su dakle male frekvencijske razlike u području vidljive svjetlosti. Najkraću valnu duljinu imaju ljubičasta i plava svjetlost, a najdulju crvena svjetlost. Kraće se valne duljine učinkovitije raspršuju po zraku nego dulje valne duljine.

Spektar vidljivog zračenja čine:

- ljubičasta boja (najveća frekvencija, najkraća valna duljina)
- plava boja
- zelena boja
- žuta
- narančasta boja
- crvena boja (najniža frekvencija, najdulja valna duljina).



Slika 8. Valne duljine boja [6]

Bijela svjetlost sastavljena je od kontinuiranog niza svih boja vidljivog spektra. U praksi pod bojom nekog tijela možemo smatrati boju koje tijelo reflektira kada je osvijetljeno bijelom svjetlošću. Bijela površina je ona koja u jednakoj mjeri reflektira sva valna područja bijele svjetlosti. Crna površina je ona koja u potpunosti apsorbira bijelu svjetlost. Siva površina u jednakoj mjeri reflektira sva valna područja bijele svjetlosti, ali ih i djelomično apsorbira. Bijela, crna i siva su akromatske boje, a sve ostale boje su kromatske.

Osnovne karakteristike kromatskih boja:

- ton (pojam vezan za ime boje npr. crvena, zelena)
- svjetlina (ovisi o intenzitetu zračenja)
- zasićenost (ovisi o čistoći boje).

2.2.3. Osnovni zakoni svjetlosnih pojava

2.2.3.1. Zakon pravocrtnog širenja svjetlosti

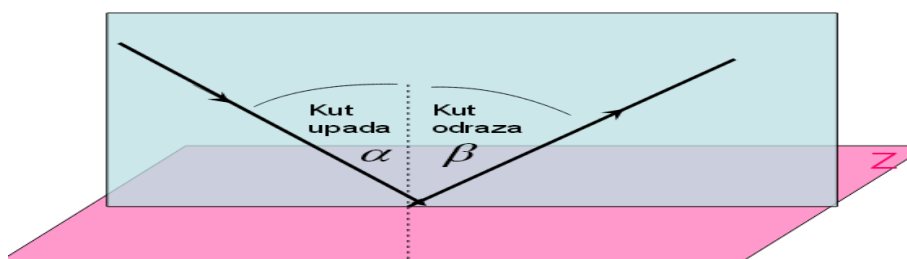
U optički homogenom i prozirnomo sredstvu zamišljamo da se svjetlost širi u zrakama koje su pravci. Ako se ispred svjetlosnog snopa postavi neka prepreka, nastaje sjena. To je zato što svjetlo ne može zaobići prepreku te ne prodire iza nje.

2.2.3.2. Zakon o nezavisnosti snopova svjetlosti

Ovaj zakon govori da se dva snopa svjetlosti u prostoru prostiru potpuno neovisno. Ako jedan snop zraka svjetlosti prolazi kroz drugi snop, jedan na drugi ne utječu, poput reflektorskih snopova koji jedan kroz drugog prolaze bez utjecaja.

2.2.3.3. Zakon refleksije svjetlosti

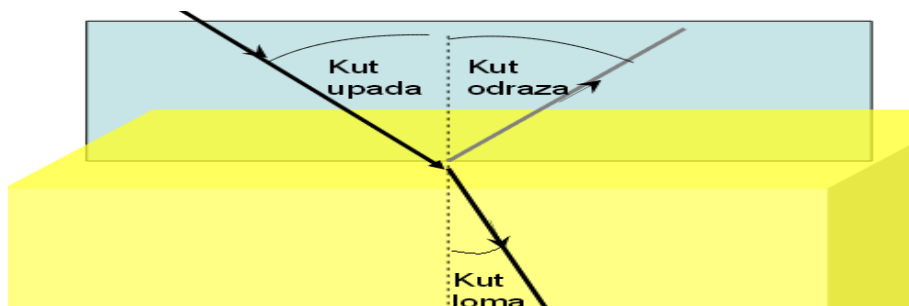
Ako svjetlost upada na zrcalo, onda upadna i odbijena zraka leže u istoj ravnini okomitoj na površinu zrcala. Kut odraza β jednak je kutu upada α .



Slika 9. Zakon refleksije [7]

2.2.3.4. Zakon refrakcije svjetlosti

Ako svjetlost upada pod kutom na granicu prozirnoga sredstva, ona se djelomično odbija i djelomično lomi. Upadna, odbijena i lomljena zraka leže u istoj ravnini okomitoj na granicu sredstva. Omjer sinusa upadnog kuta i sinusa kuta loma je stalna vrijednost za dva prozirnoga sredstva.



Slika 10. Zakon refrakcije [7]

2.3. Razlučivost

Veličina kojom se definira mogućnost razdvajanja sitnih detalja kojom se opisuje kakvoća slike.

Razlučivost oka :

- oštrina vida-sposobnost diskriminiranja sitnih detalja
- normalna oštrina vida - razlikovanje razmaka koji odgovara luku $1'$ ($1/60$ stupnja) između dva promatrana detalja (rapidno opada prema periferiji vidnog polja oka)
- ograničenja vidnog opažanja-razlikovanje kontrasta i boja

Razlučivost zaslona i digitalnih fotografija:

- broj piksela od kojih je sastavljena slika, po horizontali x broj piksela po vertikali u obliku npr 800×600 . Najčešće se izražava u milijunima piksela ili megapikselima, a što je veći broj piksela to je slika kvalitetnija.

2.4. Dubinska oštrina

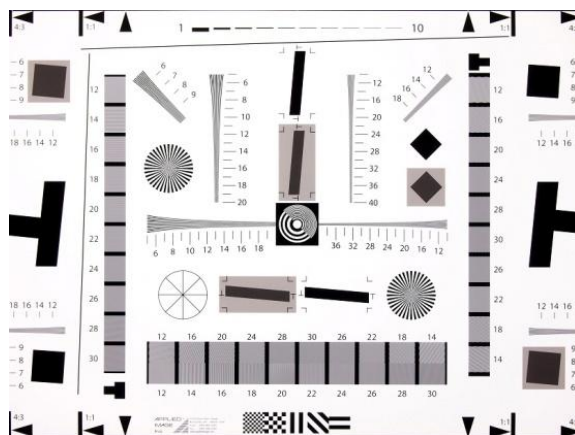
Dubinska oštrina zaslona i digitalnih fotografija:

- Područjem dubinska oštine nazivamo udaljenost između najbliže i najudaljenije točke trodimenzionalnog objekta unutar kojih je fotografija oštra
- Postoje tri čimbenika koja kontroliraju područje dubinske oštine to su:
 1. otvor zaslona- otvor zaslona veći, područje dubinske oštine je pliće
 2. žarišna duljina objektiva- kraća žarišna duljina daje veću dubinsku oštrinu
 3. udaljenost od objekta snimanja- udaljenost od objekta snimanja manja područje dubinske oštine pliće

2.5. Ispitivanje razlučivosti i dubinske oštine optičkih uređaja

2.5.1. Resolution chart (grafikon razlučivosti)

Grafikon razlučivosti koristimo za procjenu sposobnosti fotoaparata kod razlučivanja detalja. Sastoji se od paralelnih linija pri različitim postavkama (debljina linija, razmak između linija), različitih kružnih linija, siemensove zvijezde i dr.



Slika 11. Resolution chart [8]

2.5.2. Siemens star (siemens zvijezda)

Siemens zvijezda je ispitni uzorak koji se koristi za testiranje razlučivosti optičkih instrumenata. Sastoji se od uzorkom svijetlih linija na tamnoj podlozi, koji zrače iz zajedničkog središta, te se šire kako se udaljavaju od središta. Praznine između linija postaju sve manje prema središtu, ali se ne dodiruju sve do samog središta. Kada pisač ispisuje siemens zvijezdu na određenoj udaljenosti od središta u nekoj točki doći će do dodira linija, te je razmak prije točke najmanji razmak koji pisač može proizvesti tj. najveća razlučivost pisača. Isto tako primjenjuje se na optičku razlučivost fotoaparata. Fotografiranje siemens zvijezde tiskane u visokoj razlučivosti i uspoređujući fotografije iz različitih fotoaparata kako bi vidjeli na kojoj je fotografiji došlo do preklapanja linija što bliže središtu.



Slika 12. Siemens star [9]

3. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

3.1. Priprema ispitivanja

Provest ćemo usporedna ispitivanja vizualne metode pri kojima budemo ispitivali sljedeće parametre:

- udaljenost od ispitnog uzorka,
- kut gledanja ispitnog uzorka,
- razina kontrastnosti podloge i ispitnog uzorka,
- razina osvijetljenosti ispitnog uzorka,
- ispitivanje kvalitete leće.

Za provedbu ispitivanja potrebno je napraviti ispitne uzorke (etalone) od kojih ćemo svaki koristiti za neko od ispitivanja, te podloge za ispitne uzorke.

Potrebno je nabaviti opremu za ispitivanje, u ovom slučaju fotoaparata.

3.1.1. Oprema za ispitivanje

Ispitivat ćemo digitalnim fotoaparatom canon 350d s optikom SIGMA 200M. Parametre fotoaparata držimo konstantnim:

- ISO 100
- Blenda f/5,6
- Žarišna duljina leće 50 mm
- Format slika jpeg

Kao referentnu podlogu za umjeravanje fotoaparata uzmemo 18% sive pri čemu je brzina fotoaparata 0,25 sekunda.



Slika 13. Canon EOS 350d [10]

3.1.2. Digitalna izrada ispitnih uzoraka (etalona)

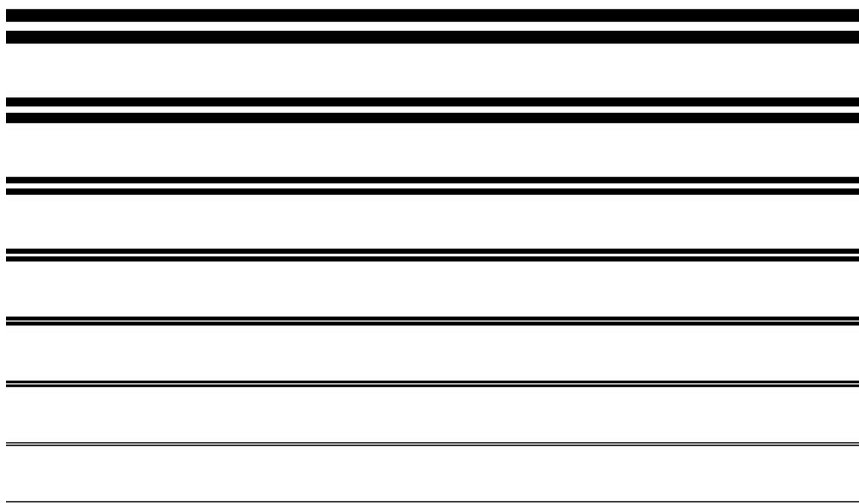
Etalon koristimo za umjeravanje alata koje koristimo te za održavanje sljedivosti između nas i nacionalnog mjeriteljskog instituta čime smanjujemo mjernu nesigurnost mjerenja.

Sljedivost je svojstvo vrijednosti etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima (obično državnim ili međunarodnim) neprekinutim lancem usporedaba koje imaju utvrđene mjerne nesigurnosti.

Ispitne uzorke radio sam u programu SolidWorks 2011.

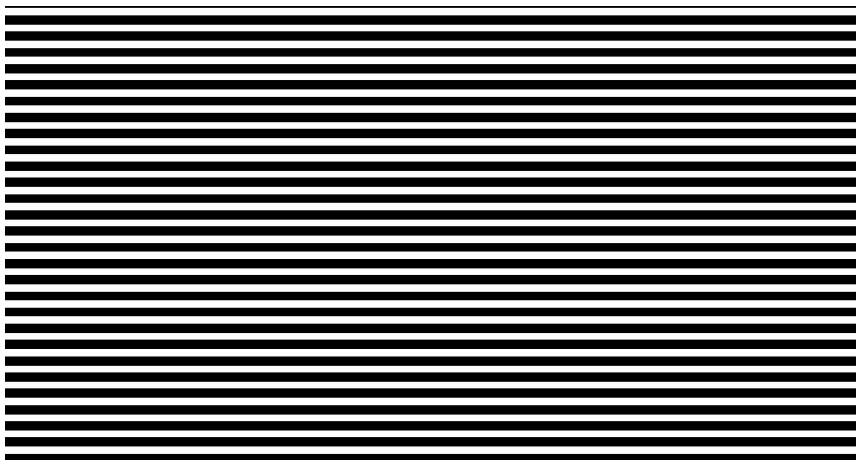
Radio sam četiri etalona:

- Prvi etalon: 8 paralelnih linija različitih širina, a širina između linija jednaka je širini linija koje ju okružuju:
 1. Linije širine 2 mm
 2. Linije širine 1.4 mm
 3. Linije širine 1 mm
 4. Linije širine 0.7 mm
 5. Linije širine 0.5 mm
 6. Linije širine 0.35 mm
 7. Linije širine 0.25 mm
 8. Linije širine 0.18 mm



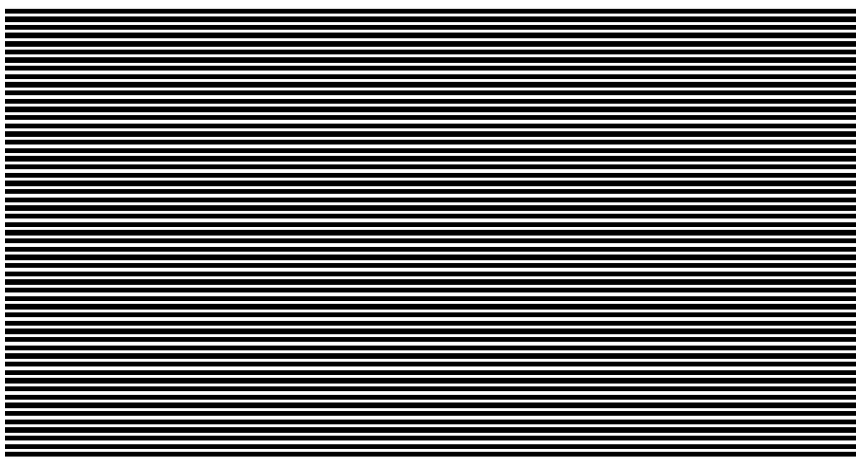
Slika 14. Referentni etalon broj 1

- Drugi etalon: paralelne linije jednakih širina, a širina između linija jednaka je širini linije (2mm)



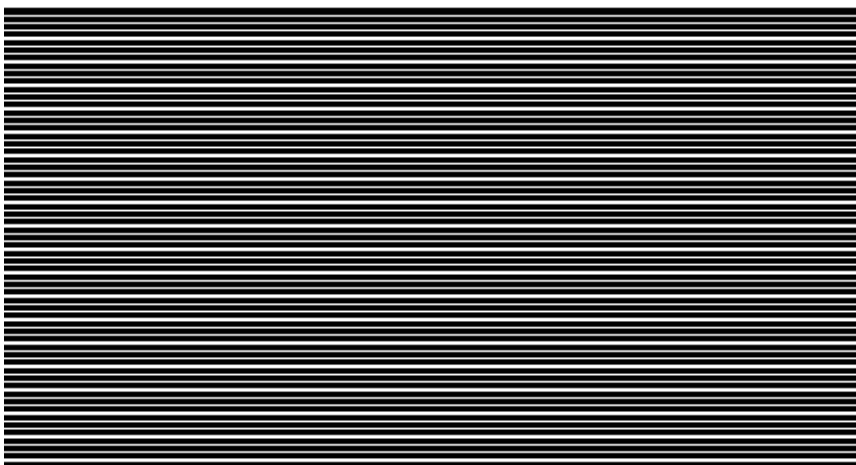
Slika 15. Referentni etalon broj 2.

- Treći etalon: paralelne linije jednakih širina, te je jednaka širina između njih (1mm)



Slika 16. Referentni etalon broj 3

- Četvrti etalon: paralelne linije jednakih širina, te je jednaka širina između njih (0.5mm)



Slika 17. Referentni etalon broj 4

Tablica 1. Upotreba referentnih etalona

Redni broj etalona	Vrsta ispitivanja	Utjecajni parametar
1.	Razlučivost	Udaljenost
	Razlučivost	Kontrast
2.	Dubinska oštrina	Kut
3.	Razlučivost	Razina osvjetljenja
4.	Razlučivost	Kvaliteta leće

3.1.3. Digitalna izrada podloga za etalone

Podloge za ispitne uzorke rađene su u programu Photoshop CC.

Korištene su tri podloge:

- Prva podloga je bijela
- Druga podloga je 18 % sive boje
- Treća podloga je 50 % sive boje

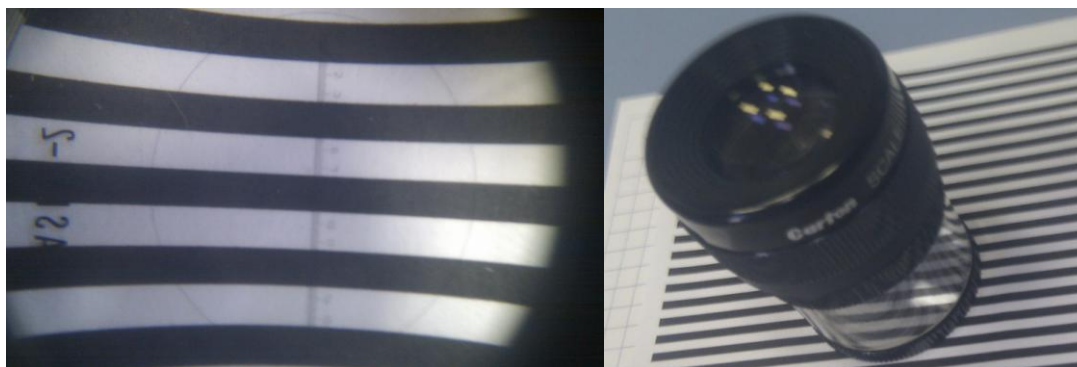
3.1.4. Printanje i ispitivanje točnosti etalona

Printanje se vršilo na fotokopirnom uređaju Canon image RUNNER ADVANCE C2230i

Printing method	Colour Laser Beam Printing
Print resolution	1200 dpi x 1200 dpi, 600 dpi x 600 dpi

Slika 18. Specifikacije printera [10]

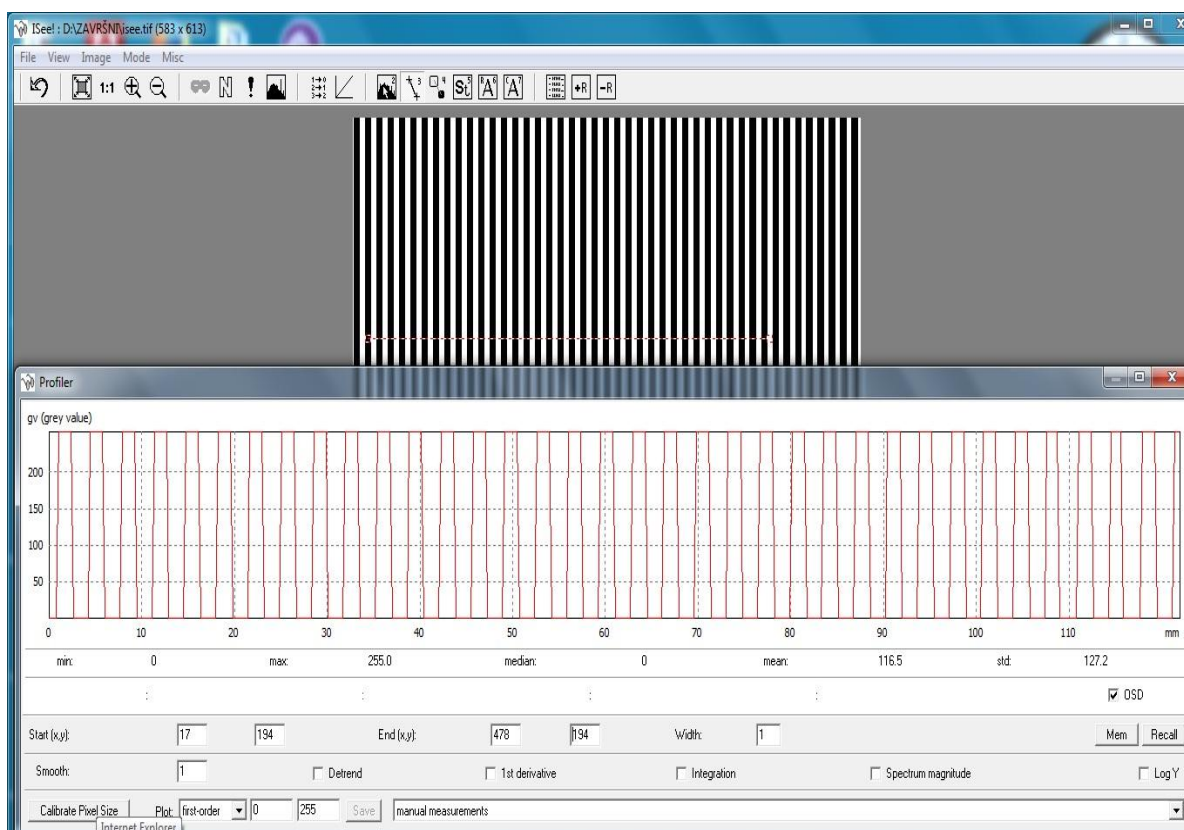
Ispitivanje točnosti etalona ispitivali smo mjernom lupom. Mjerna lupa je jednostavan optički instrument koji omogućuje postavljanje objekta bliže očima nego što se može normalno fokusirati i formira uvećanu virtualnu sliku. U središtu ima postavljenu 16 milimetarsku skalu podjele 0.1mm, s koje očitavamo rezultate. Rezultati mjerenja poklapaju se s zadanim širinama linija te širinama između linija.

**Slika 19. Ispitivanje etalona mjernom lupom**

3.1.5. Program za obradu podataka

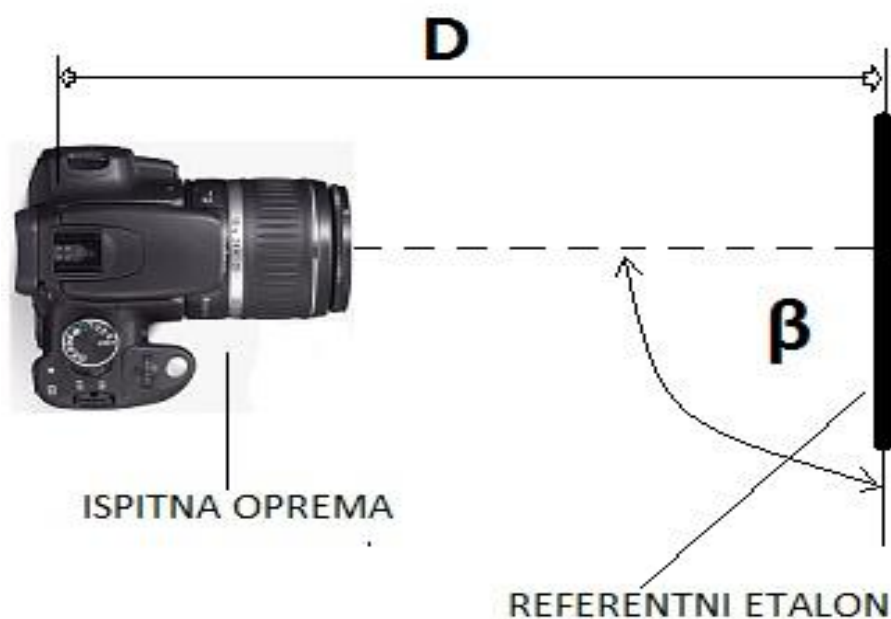
Za obradu podataka dobivenih pri usporednim ispitivanjima vizualnom metodom koristio sam program ISee. Podatke dobivene ispitivanjem prvo sam u photoshopu prebacivao iz 8 bitnog RGB u 8 bitni grayscale tako da u slici imamo samo nijanse sive boje, te iz jpeg formata prebacio u tiff format kojeg čita program ISee. U programu sam koristio opciju PROFILER pomoću koje dobijemo 8 bitni prikaz od 256 nijansi sive. Označimo dio koji želimo i on nam postavi liniju koja ide u rasponu od 0 do 256 i govori nam nijansu sive svakog našeg pixela. Pomoću te linije možemo prikazati razliku dubinske oštine na pojedinim slikama.

Primjer:



Slika 20. Primjer rada u ISee programu

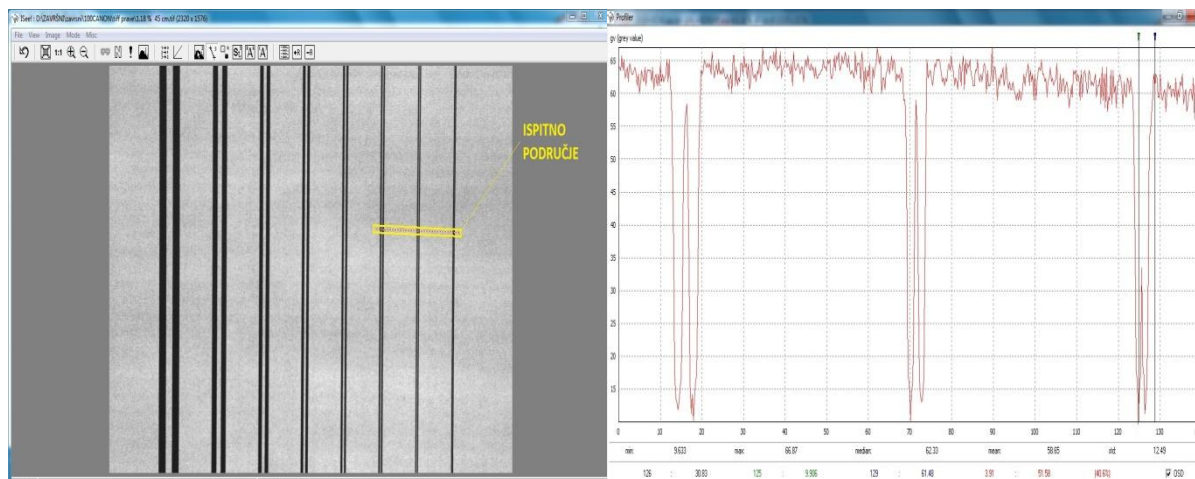
3.2. Usporedna vizualna ispitivanja



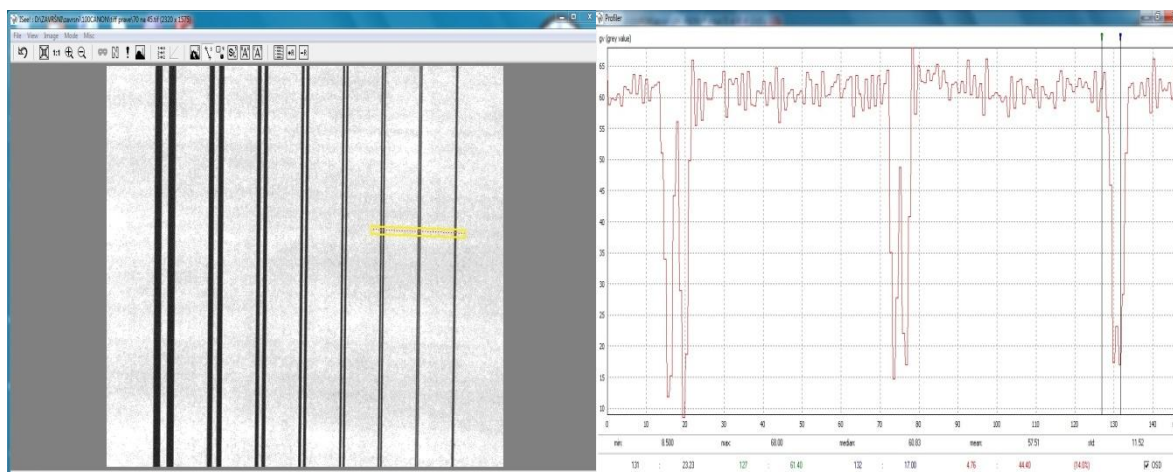
Slika 21. Položaj fotoaparata i ispitnog uzorka

3.2.1. Udaljenost od ispitnog uzorka

Ispitivanje vršimo na etalonu broj 1 (paralelne linije različitih širina na podlozi s 18% sive boje) ,a udaljenosti na kojima ćemo provoditi ispitivanje su 500 i 700 mm.



Slika 22. Ispitivanje parametra udaljenosti 500 mm



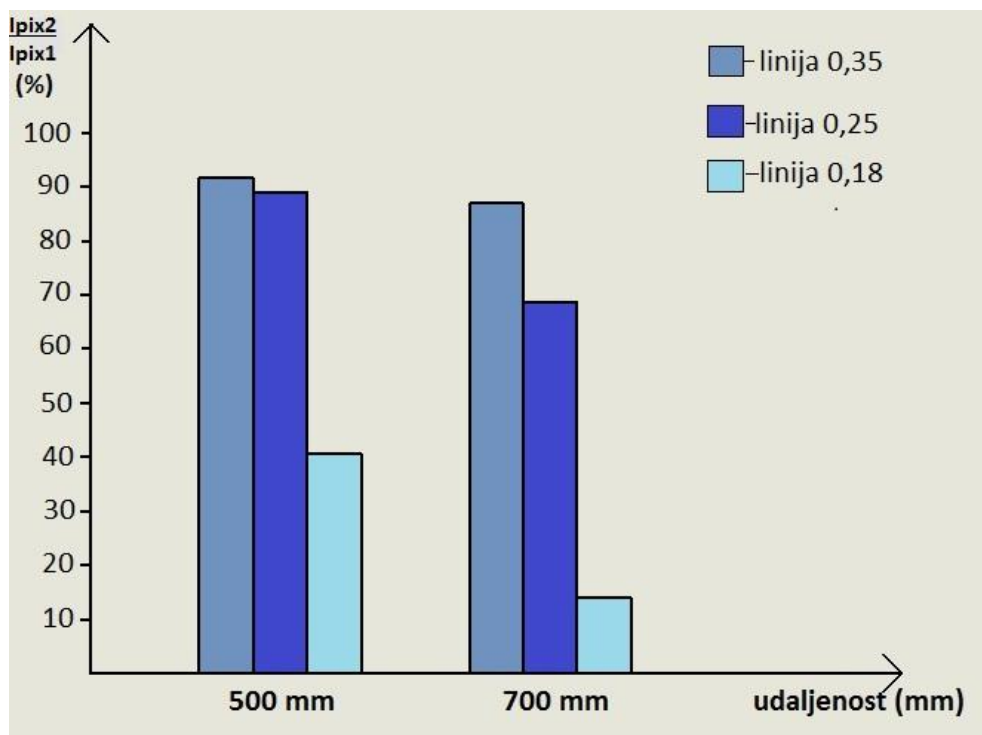
Slika 23. Ispitivanje parametra udaljenosti 700 mm

Iz priloženih slika vidimo vidljivu razliku kvalitete slike, s povećavanjem udaljenosti od ispitnog uzorka kvaliteta slike ispitnog djela pada (gubimo pixele).

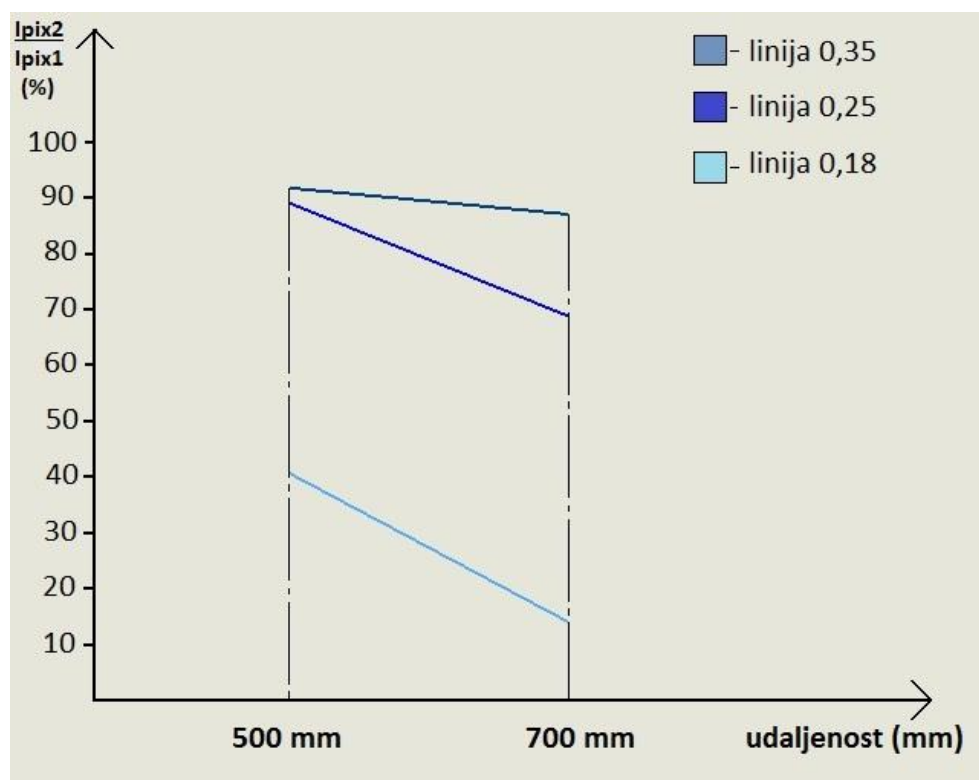
U slikama 21 i 22 prikazan je 8 bitni prikaz od 256 nijansi sive boje. Ispitali smo prijelaze na zadnje tri najtanje paralelne linije, kao postotak-razlike nijanse sive koja se nalazi između crnih paralelnih linija od nijanse sive koja se nalazi prije crnih paralelnih linija. Dobiveni podaci dani su u tablici 1.

Tablica 2. Rezultati ispitivanja parametra udaljenosti

Udaljenost	Širina linija-0,35 mm	Širina linija-0,25 mm	Širina linija-0,18 mm
500 mm	91.7%	89%	40,6%
700 mm	87%	68.75%	14%



Slika 24. Prikaz rezultata ispitivanja udaljenosti

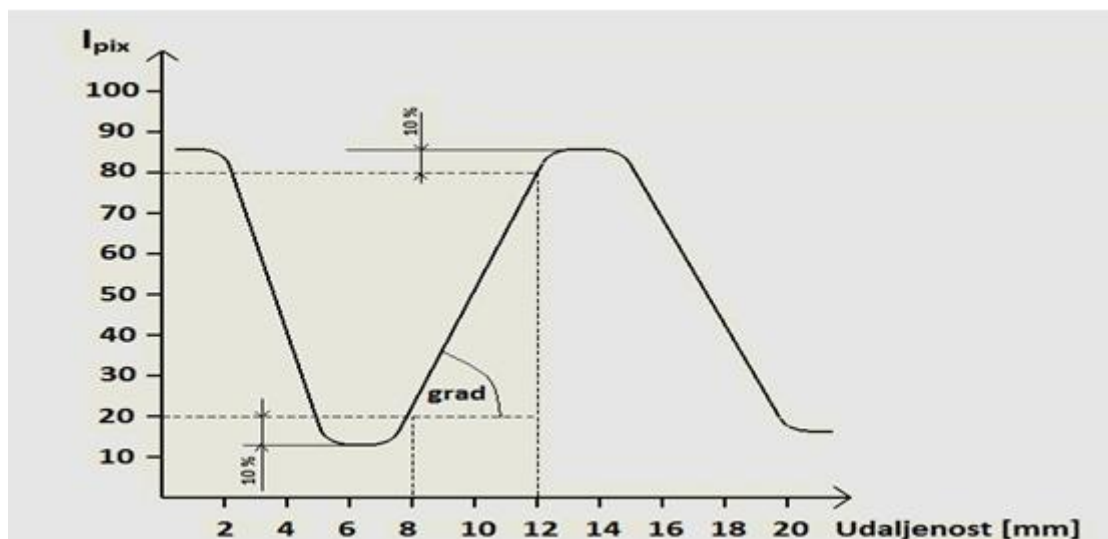


Slika 25. Prikaz rezultata pojedinačnih linija

3.2.2. Kut gledanja ispitnog uzorka

Ispitivanje vršimo na etalonu broj 2 (paralelne linije jednake širine i razmaka između njih (2mm)) , bijeloj podlozi, pri udaljenosti 500 mm, a kutevi pri kojima vršimo ispitivanje su 90°, 60° i 30°. Ispitivanje izvodimo tako da računamo brzinu promjene (gradijent) intenziteta piksela s promjenom lateralne udaljenosti.

$$grad = \cos^{-1} \left[\frac{\Delta L}{0.9(I_{pix2} - I_{pix1})} \right] [^\circ] \quad (1)$$

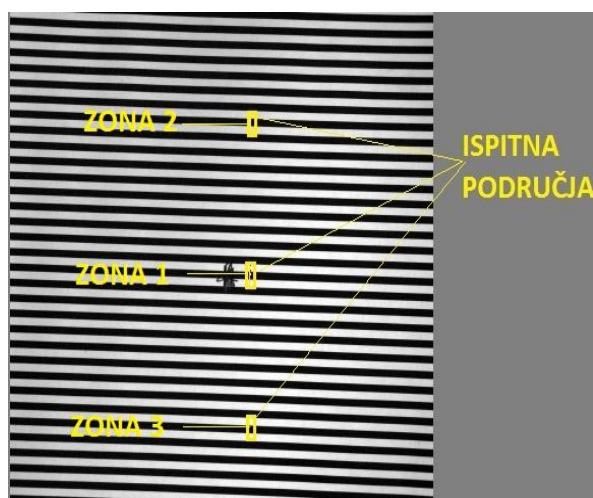


Slika 26. Prikaz gradijenta

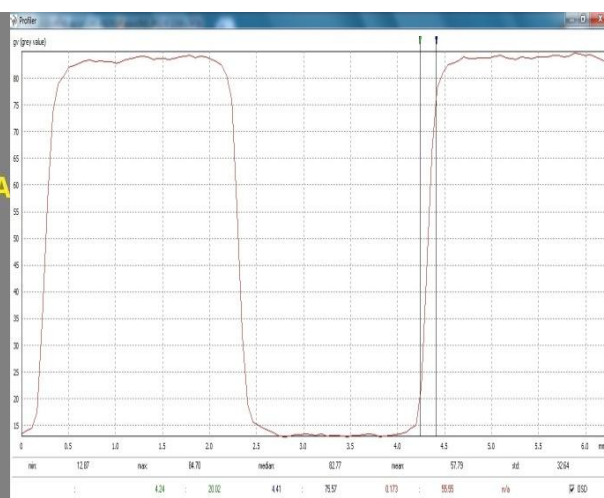
Brzinu promjene intenziteta piksela računamo u tri zone:

- Zona 1- područje fokusa
- Zona 2- područje iza fokusa (40 mm)
- Zona 3- područje prije fokusa (40 mm)

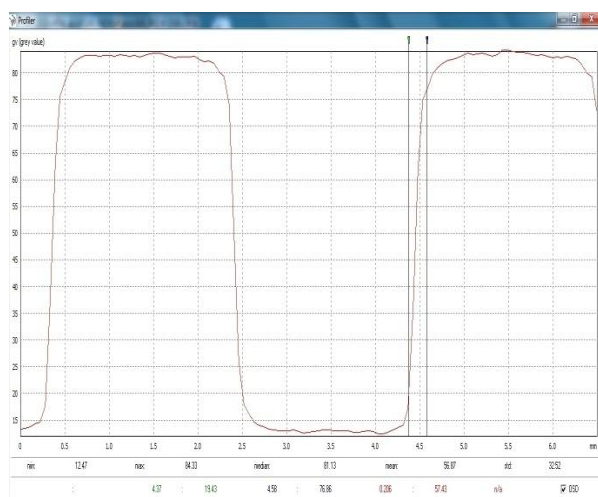
90°



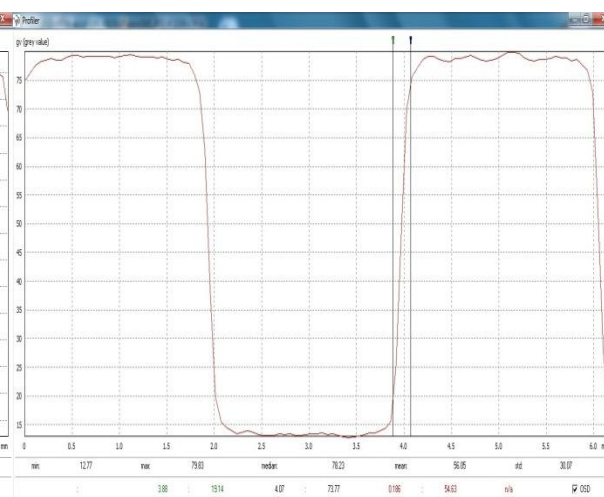
Slika 27. Ispitno područje



Slika 28. Rezultati ispitivanja (ZONA 1)

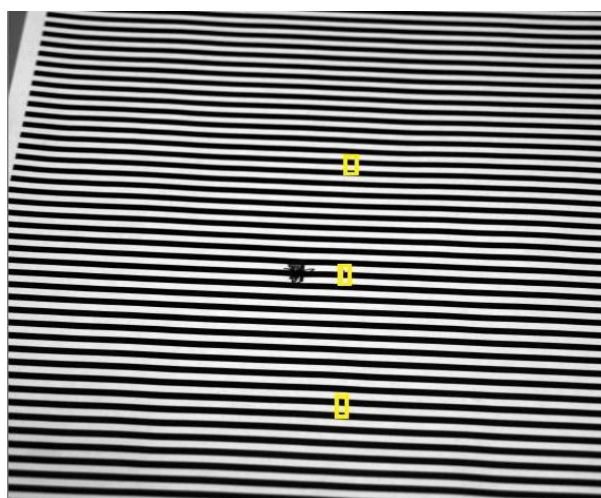


Slika 29. Rezultati ispitivanja (ZONA 2)

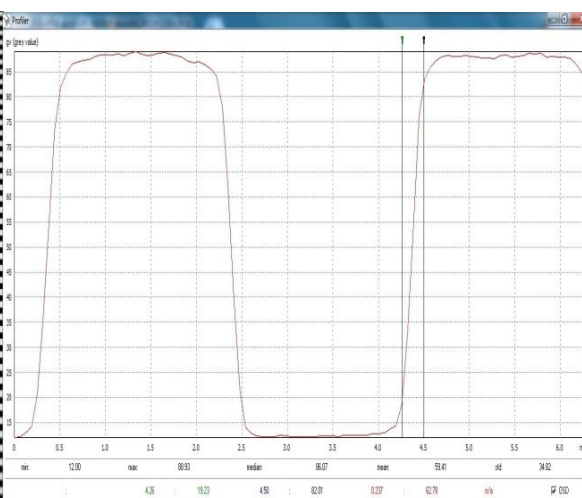


Slika 30. Rezultati ispitivanja (ZONA 3)

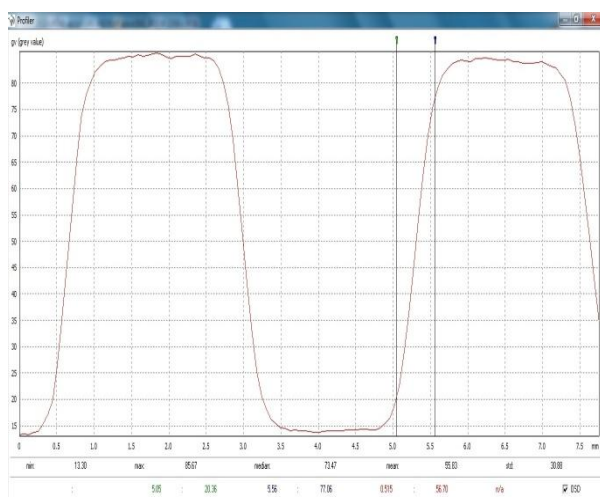
60°



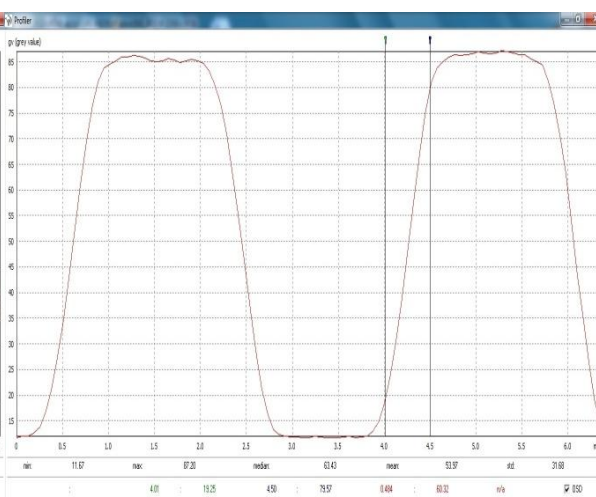
Slika 31. Ispitno područje



Slika 32. Rezultati ispitivanja (ZONA 1)

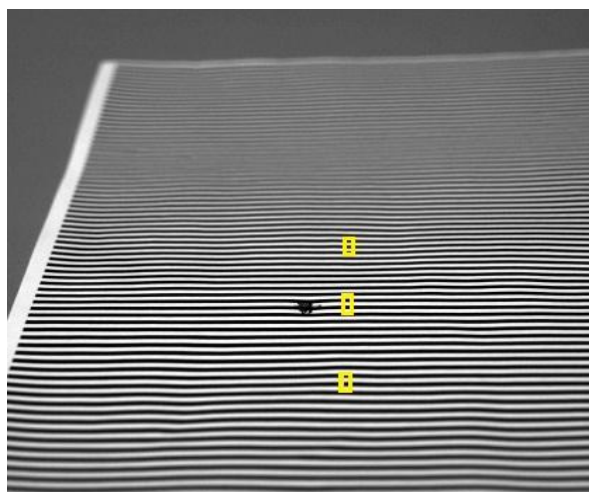


Slika 33. Rezultati ispitivanja (ZONA 2)

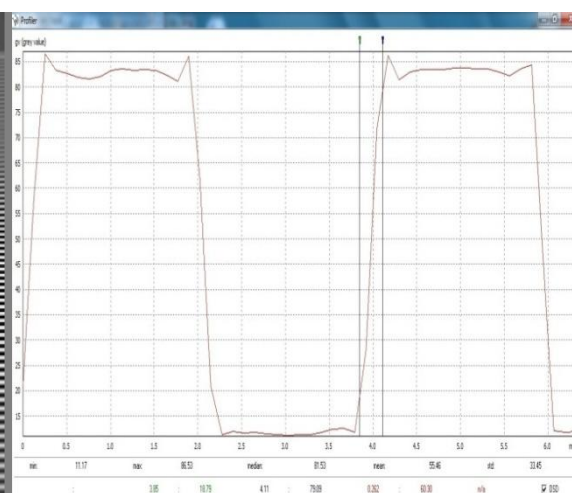


Slika 34. Rezultati ispitivanja (ZONA 3)

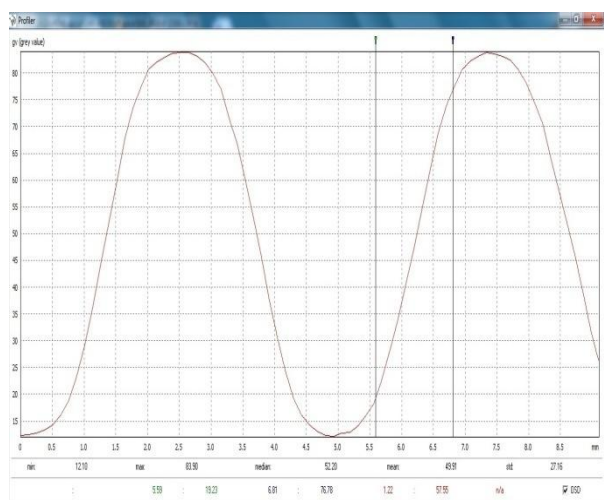
30°



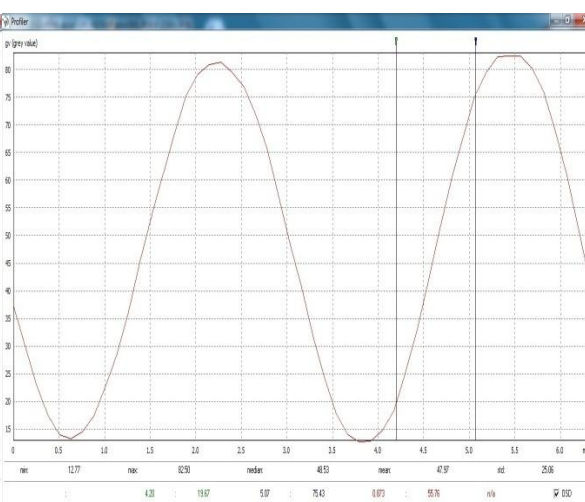
Slika 35. Ispitno područje



Slika 36. Rezultati ispitivanja (ZONA 1)



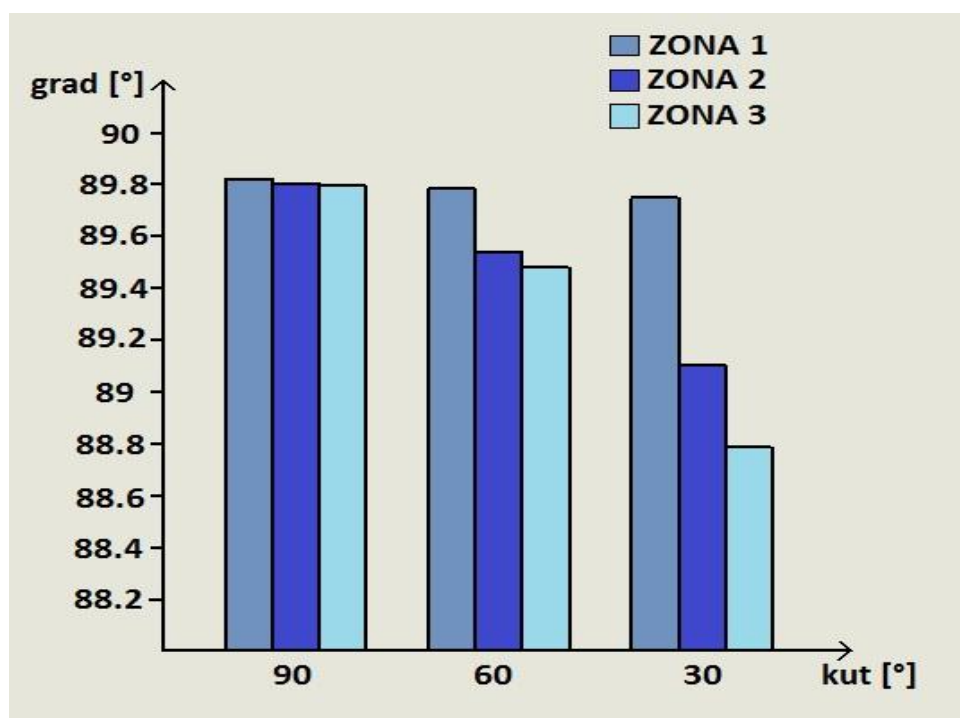
Slika 37. Rezultati ispitivanja (ZONA 2)



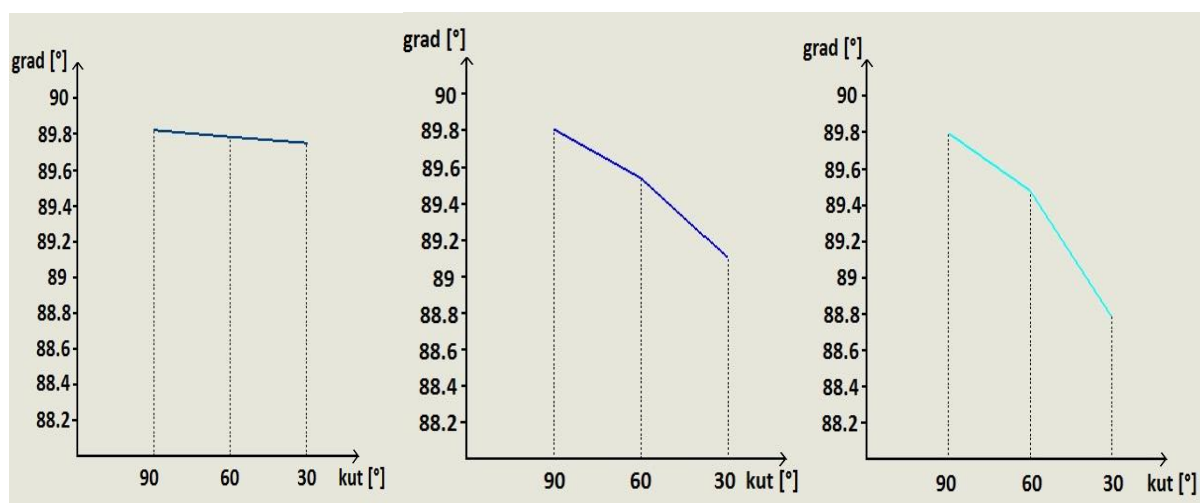
Slika 38. Rezultati ispitivanja (ZONA 3)

Tablica 3. Rezultati ispitivanja parametra kuta

Redni broj	Kut	Gradijent (zona 1)	Gradijent (zona 2)	Gradijent (zona 3)
1.	90°	89.822°	89.805°	89.795°
2.	60°	89.784°	89.540°	89.479°
3.	30°	89.75°	89.103°	88.785°



Slika 39. Ovisnost gradijenta o smanjenju kuta



a) ZONA 1

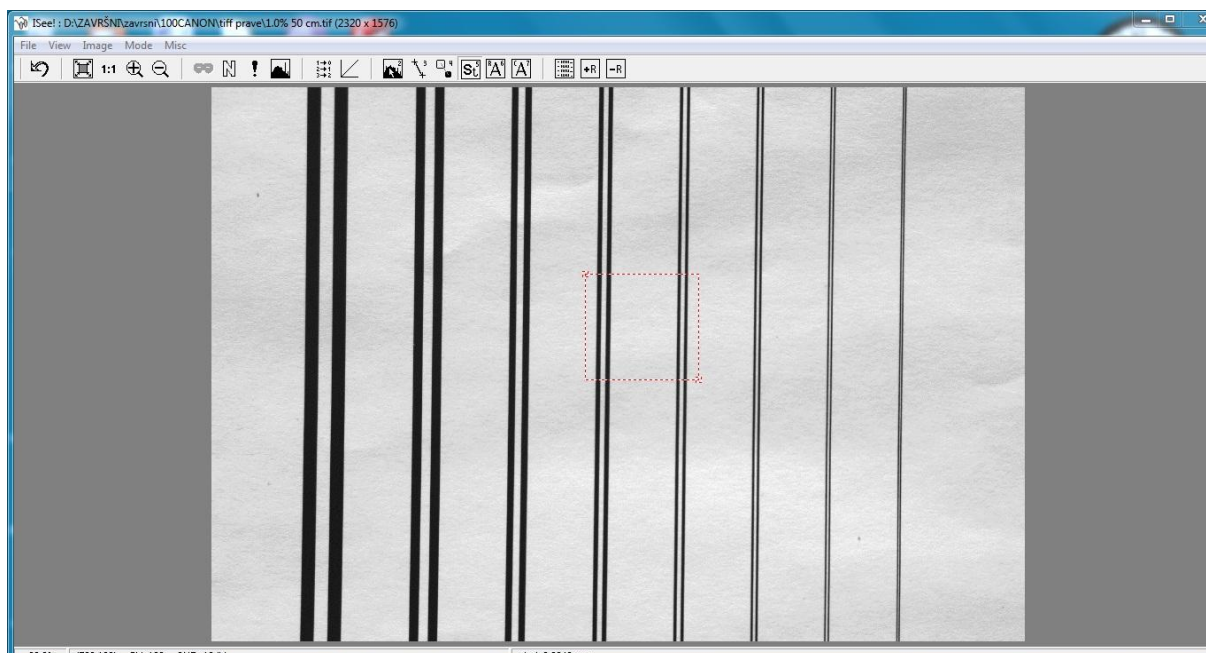
b) ZONA 2

c) ZONA 3

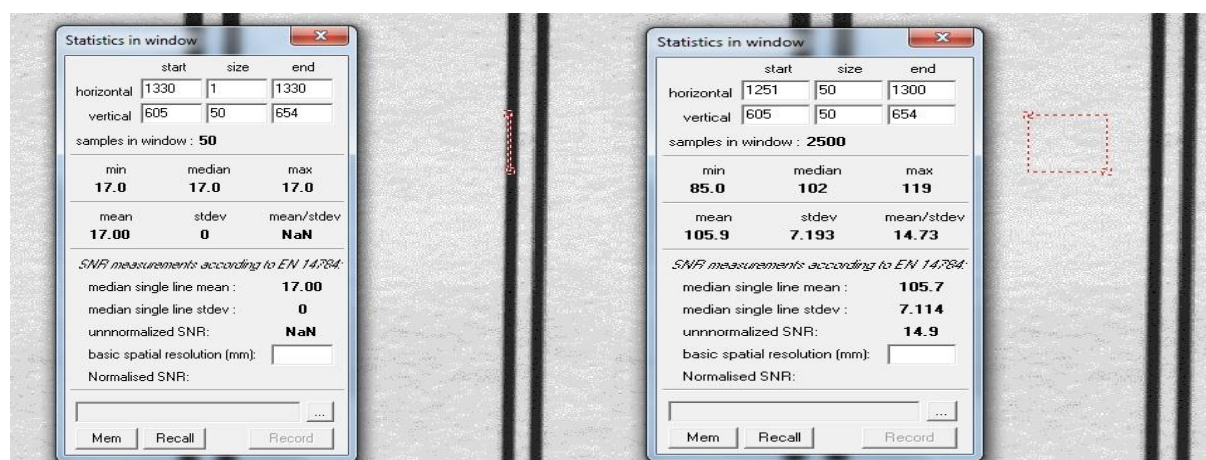
Slika 40. Dijagrami pada gradijenta s obzirom na smanjenje kuta

3.2.3. Kontrast podloge i ispitnog uzorka

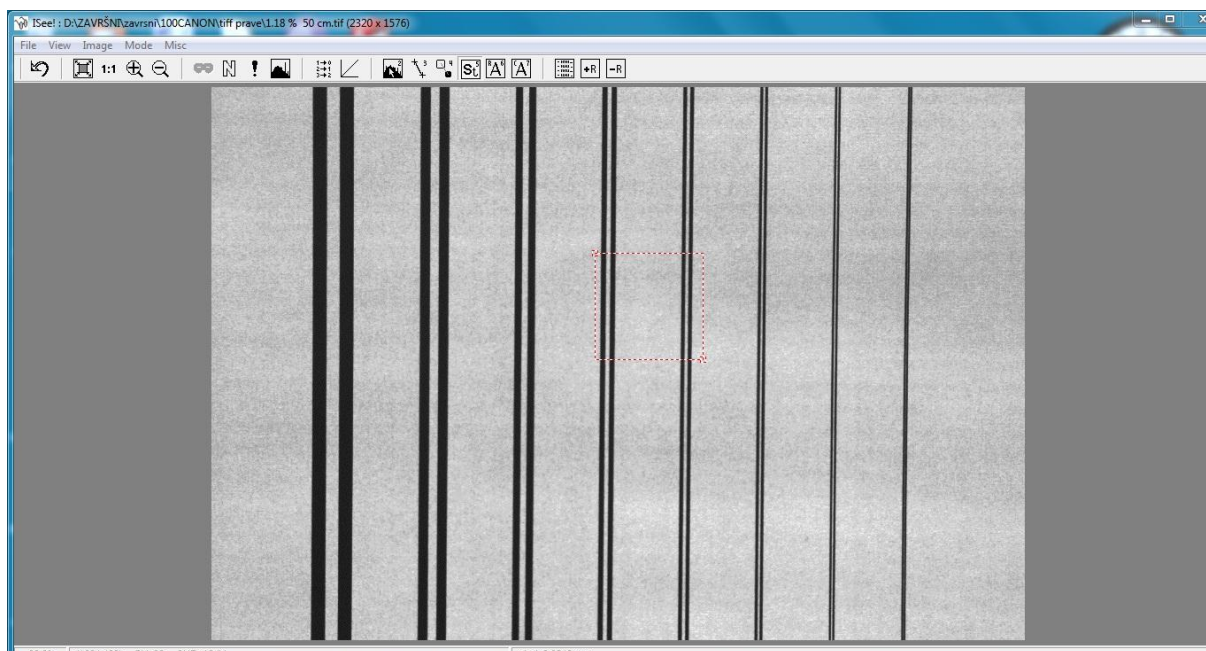
Ispitivanje vršimo na etalonu broj 1 (paralelne linije s različitim širinama linija na podlogama od 0,18 i 50% sive), pri udaljenosti od 500mm.



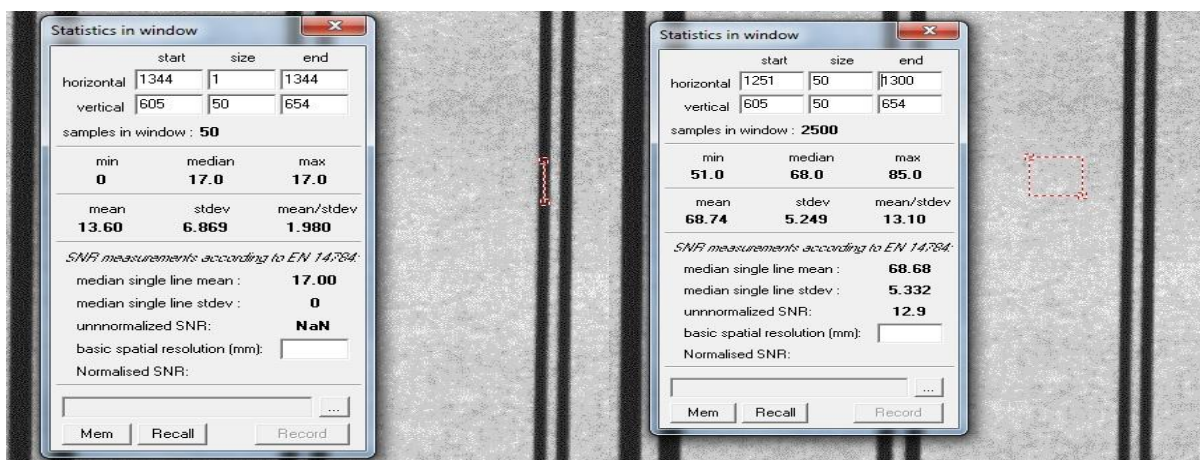
Slika 41. 0 % sive



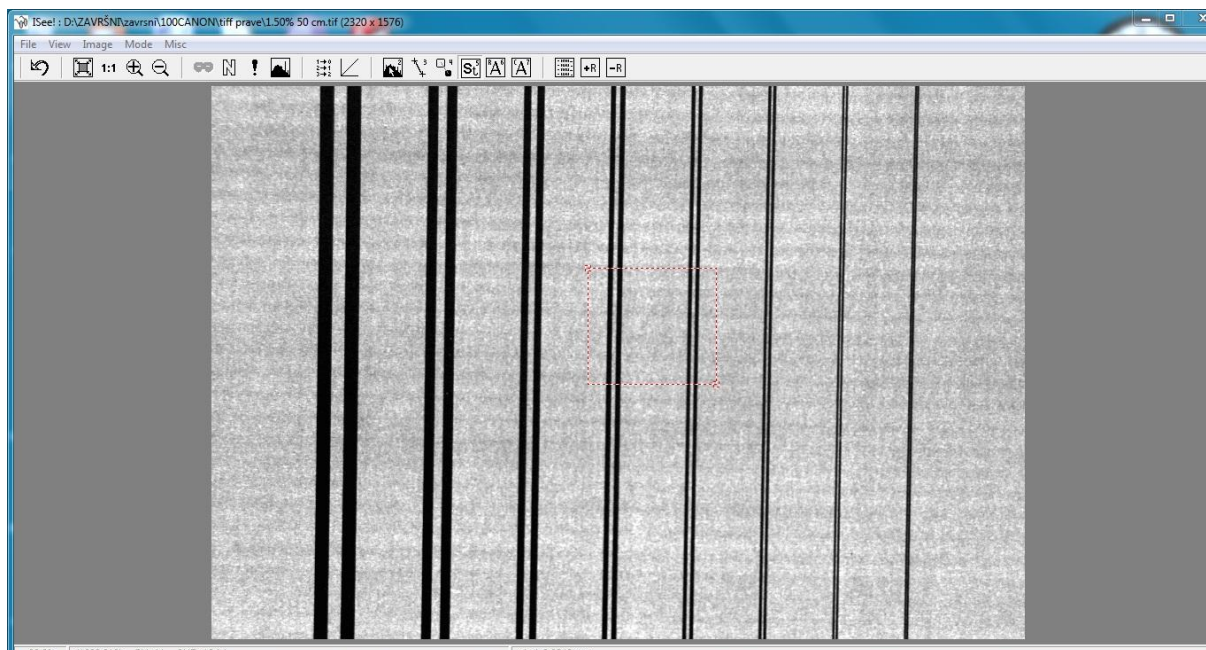
Slika 42. Rezultati ispitivanja pixela za 0% sive



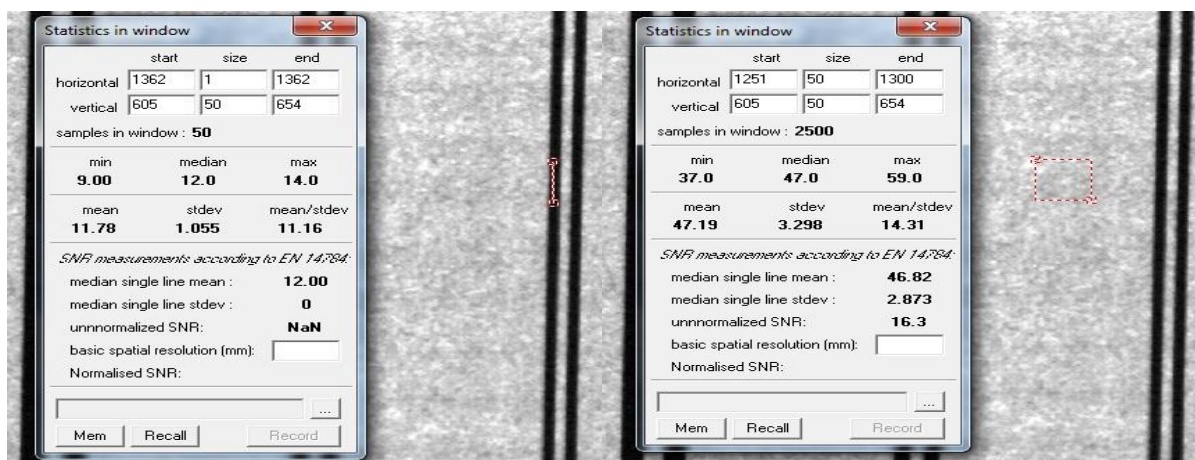
Slika 43. 18% sive



Slika 44. Rezultati ispitivanja pixela za 18% sive



Slika 45. 50% sive

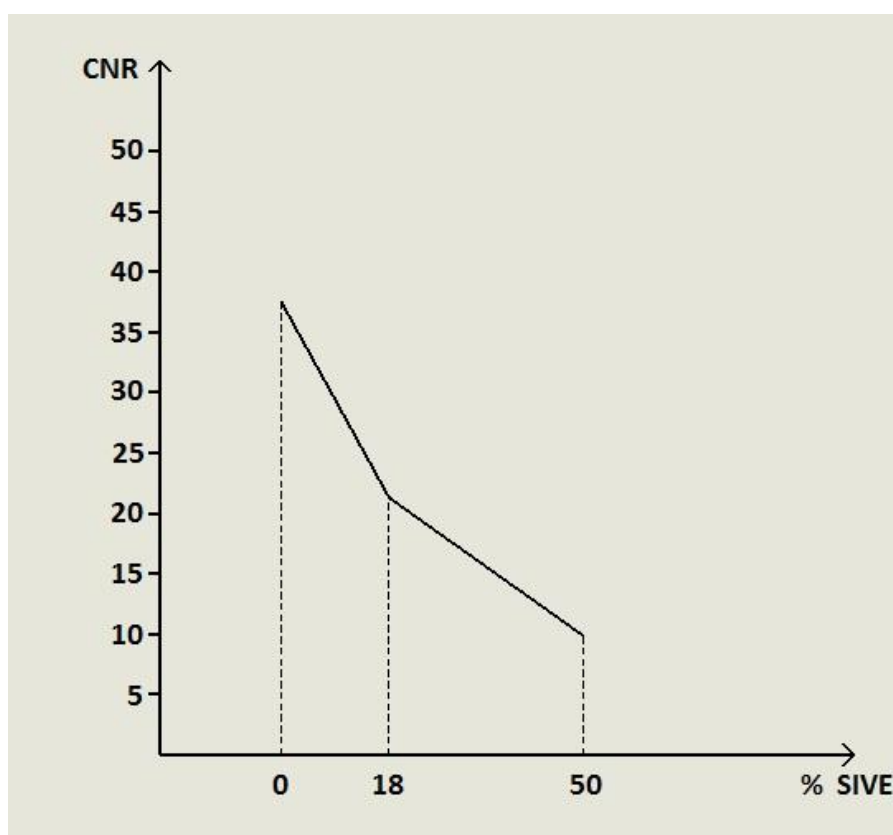


Slika 46. Rezultati ispitivanja pixela za 50% sive

Usporedbom rezultata uočeno je da se smanjenjem kontrasta između ispitnog uzorka i podloge smanjuje vidljivost te CNR pada. Rezultati su dani u tablici 2.

Tablica 4. Rezultati ispitivanja kontrasta podloge i ispitnog uzorka

Redni broj	% sive	I_{pix1}	I_{pix2}	St.dev ₂	$K=I_{\text{pix2}}-I_{\text{pix1}}$	$\text{CNR}=K/\text{St.dev}_2$
1.	0	17	105.9	7.193	88.9	37.622
2.	18	13.6	68.74	5.249	55.14	21.281
3.	50	11.78	47.19	3.298	35.41	9.913

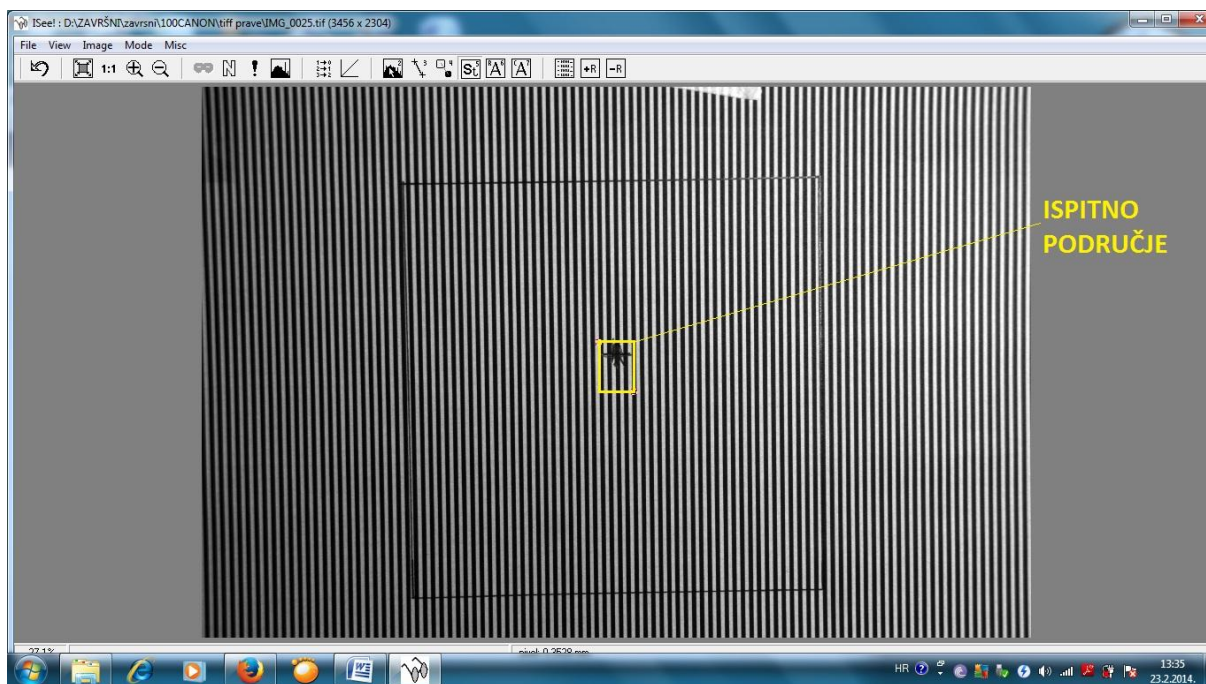


Slika 47. Promjena CNR-a s smanjenjem kontrasta

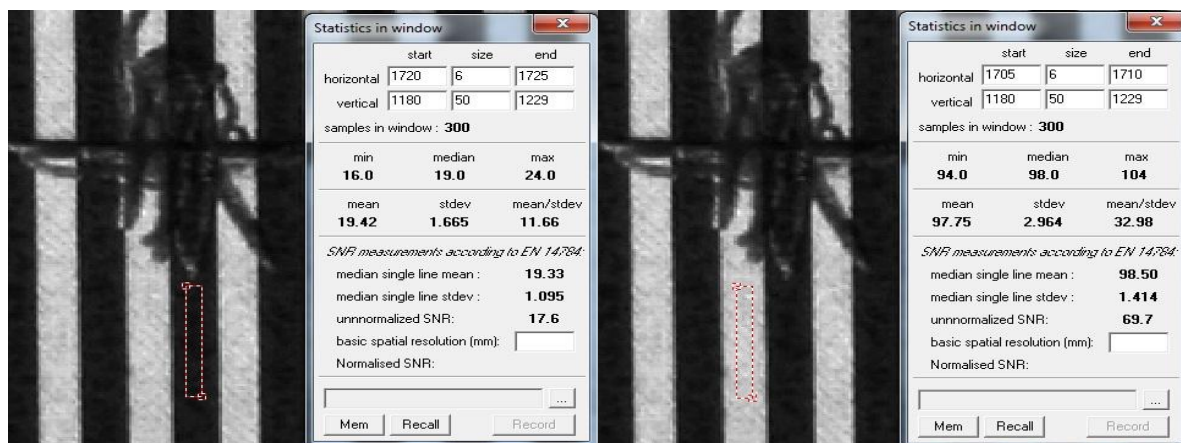
3.2.4. Razina osvijetljenosti ispitnog uzorka

Ispitivanje se provodi na etalonu broj 3 (linije iste širine i istog razmaka između njih (1mm) s podlogom od 18% sive) pri udaljenosti od 500 mm od fotoaparata.

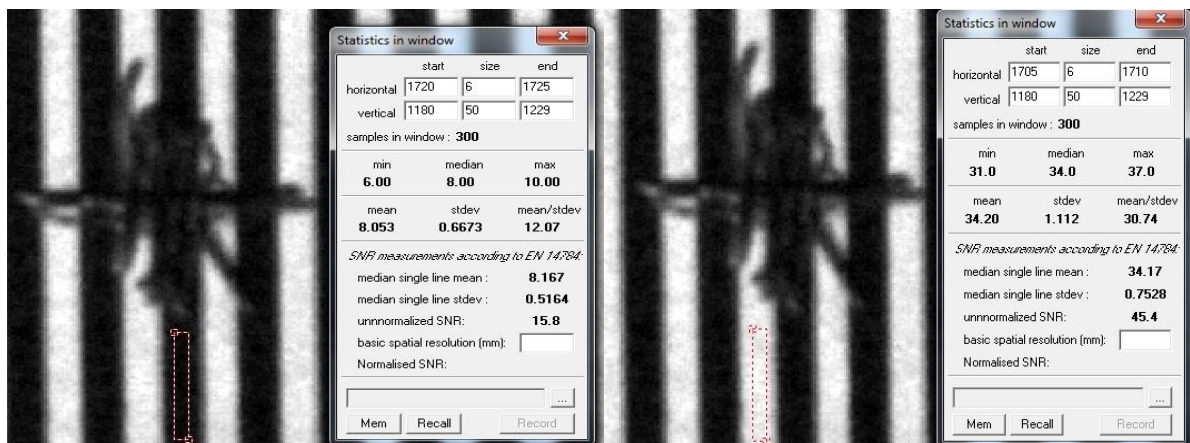
Razinu osvijetljenosti mjerimo luksmetrom lutron LX-107.



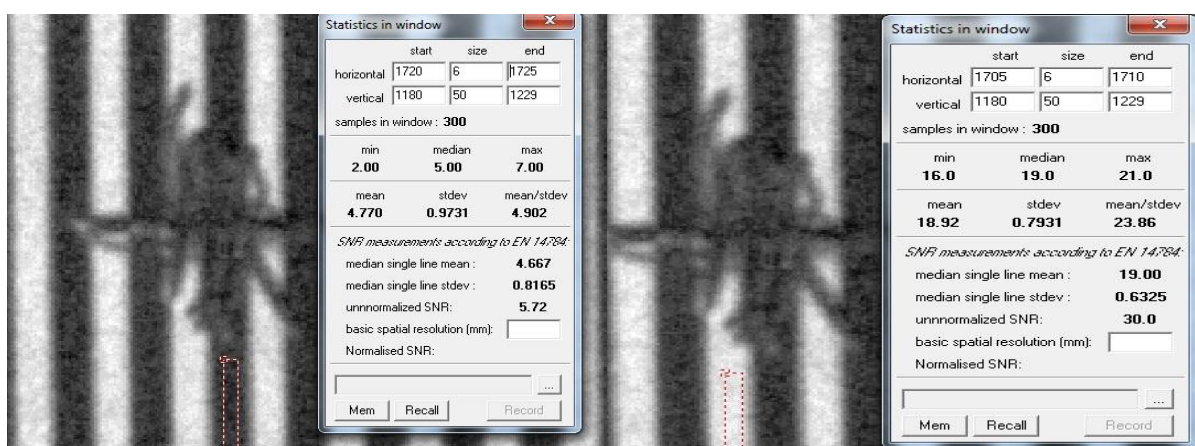
Slika 48. Ispitno područje ispitivanja razine osvijetljenja



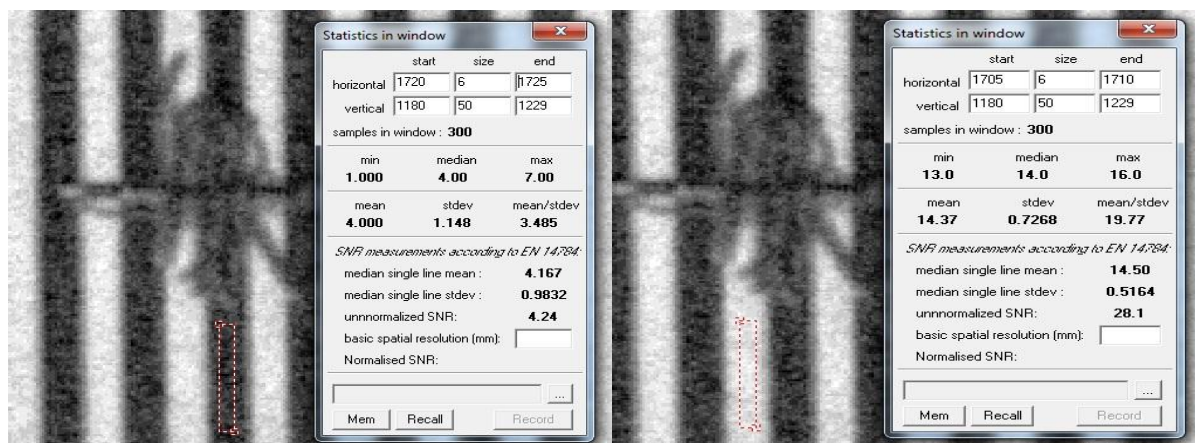
Slika 49. Rezultati za razinu osvijetljenja 440 lx



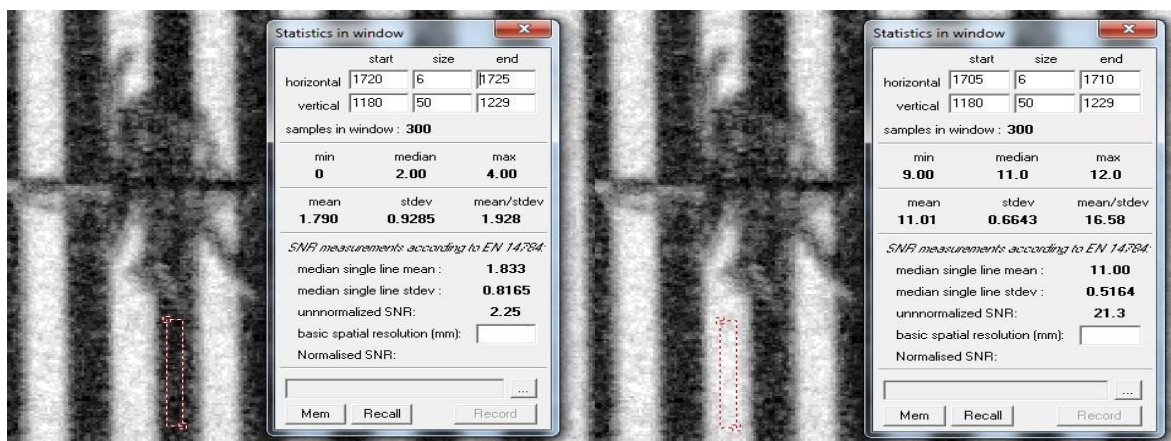
Slika 50. Rezultati za razinu osvjetljenja 140 lx



Slika 51. Rezultati za razinu osvjetljenja 83 lx



Slika 52. Rezultati za razinu osvjetljenja 53 lx

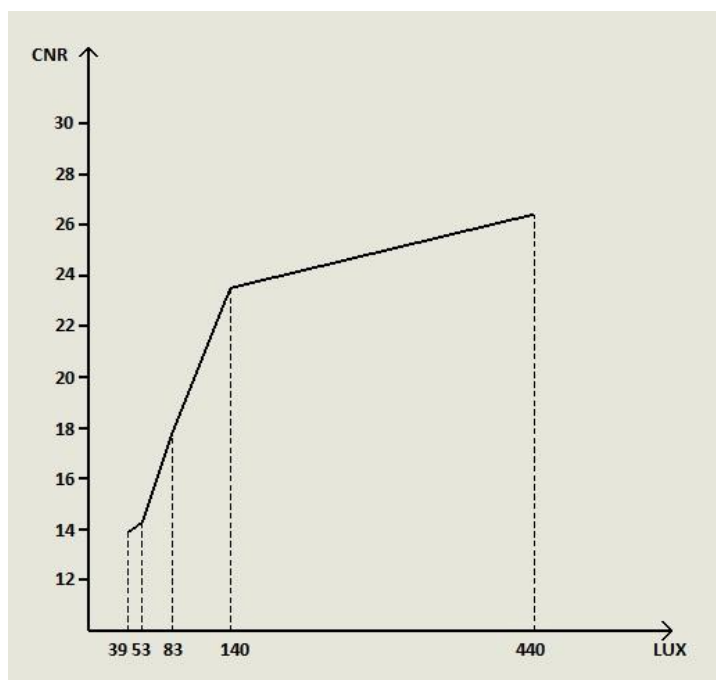


Slika 53. Rezultati za razinu osvjetljenja 39 lx

Iz tablice vidimo da se smanjenjem razine osvjetljenja smanjuje intenzitet pixela i kontrast, te CNR pada.

Tablica 5. Rezultati ispitivanja razine osvjetljenja

Redni broj	Lux	I_{pix1}	I_{pix2}	St.dev_2	$K = I_{\text{pix2}} - I_{\text{pix1}}$	$\text{CNR} = K / \text{St.dev}_2$
1.	440	19.42	97.75	2.964	78.33	26.427
2.	140	8.053	34.2	1.112	26.147	23.513
3.	83	4.77	18.92	0.7931	14.15	17.84
4.	53	4	14.37	0.7268	10.37	14.268
5.	39	1.79	11.01	0.6643	9.22	13.879



Slika 54. Promjena CNR-a s porastom razine osvjetljenja

3.2.5. Ispitivanje kvalitete leće

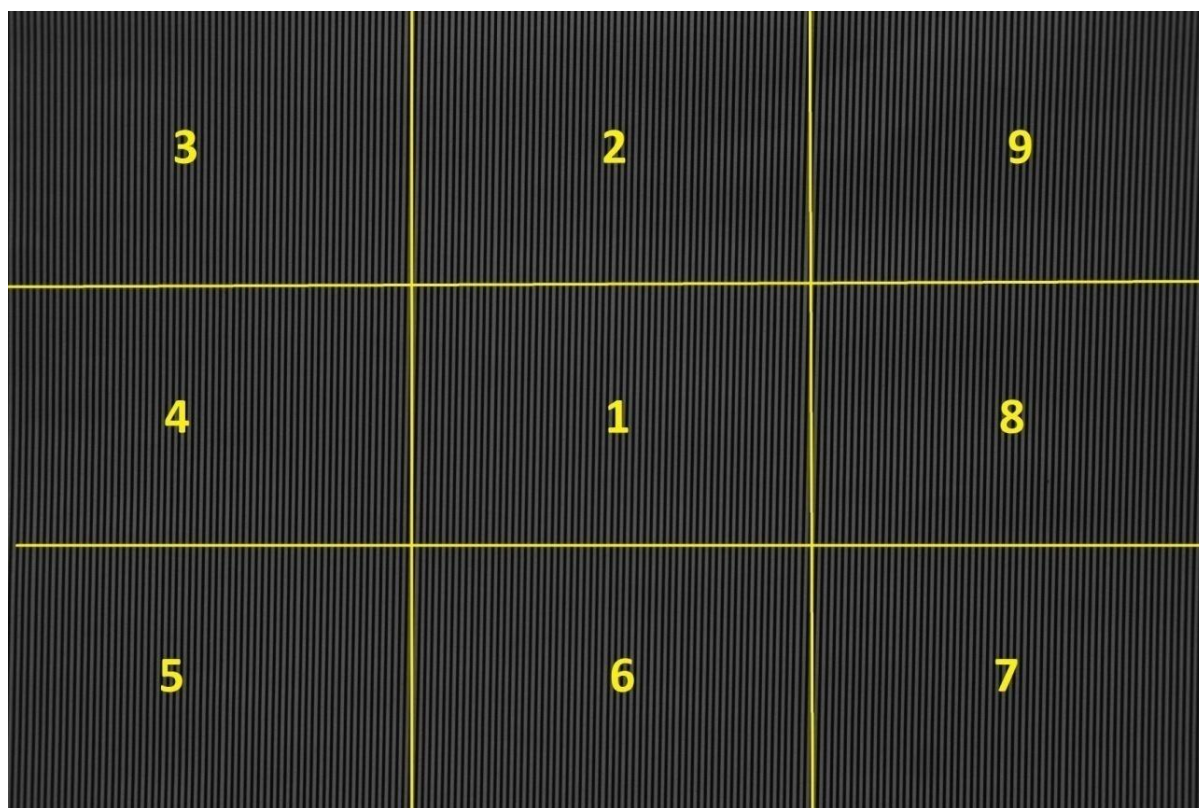
Ispitivanje izvodimo na etalonu broj 4 (paralelne linije iste širine (0.5 mm) s podlogom od 18% sive), na udaljenosti od 500 mm.

Ispitivanje provodimo računanjem brzine promjene (gradijenta) intenziteta piksela s promjenom lateralne udaljenosti.

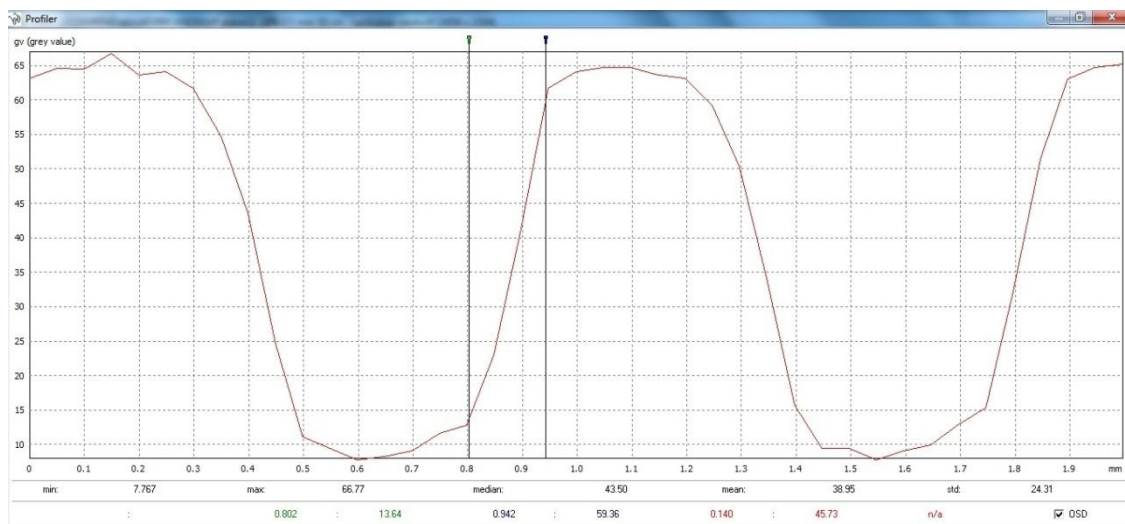
$$grad = \cos^{-1} \left[\frac{\Delta L}{0.9(I_{pix2} - I_{pix1})} \right] [^\circ] \quad (1)$$

Uzorak ćemo ispitivati po zonama, vertikalno, horizontalno i dijagonalno od sredine.

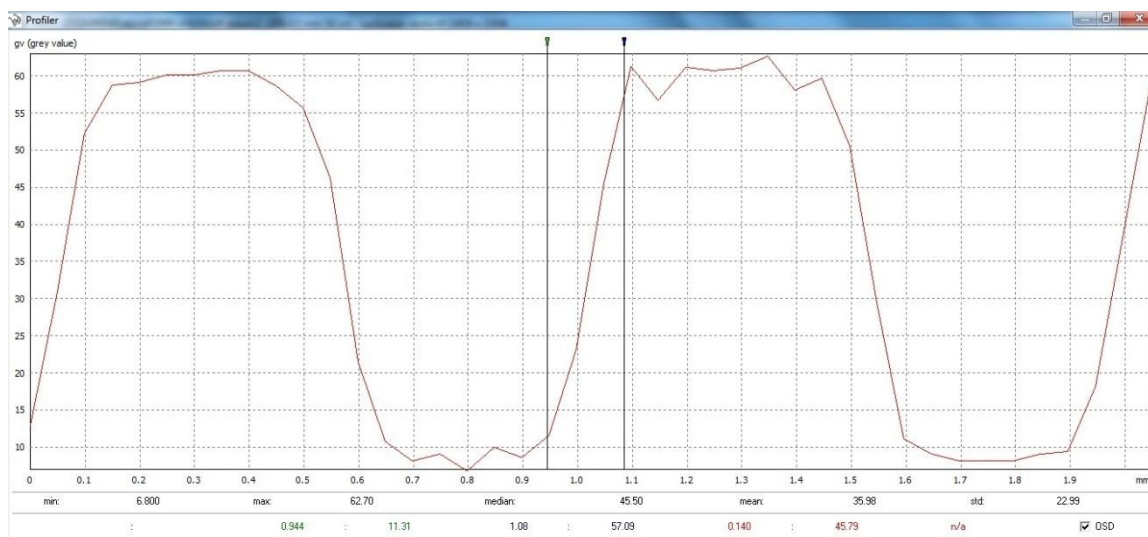
Ispitivanje se vrši u središtu svake zone.



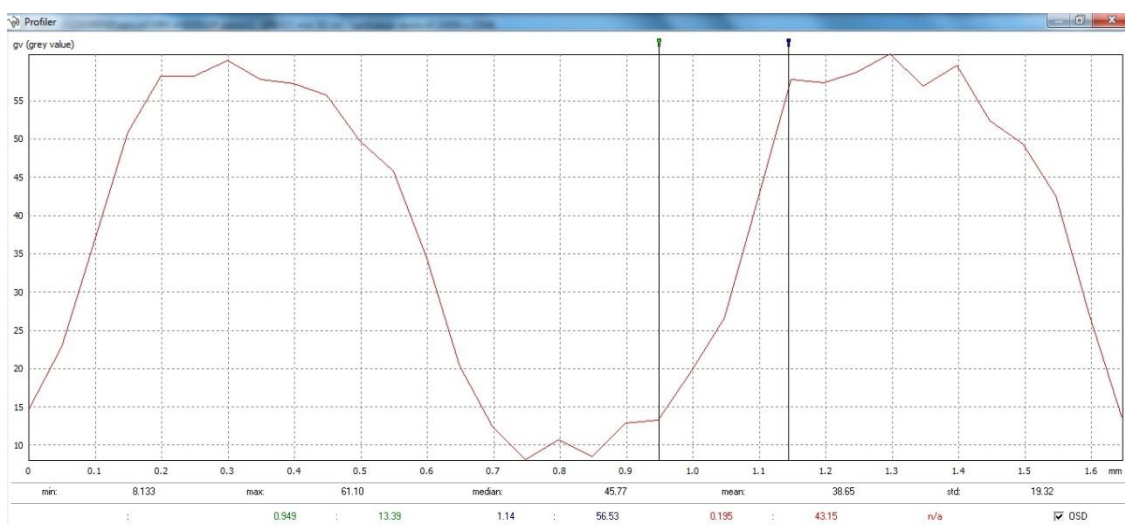
Slika 55. Podijela referentnog etalona po zonama



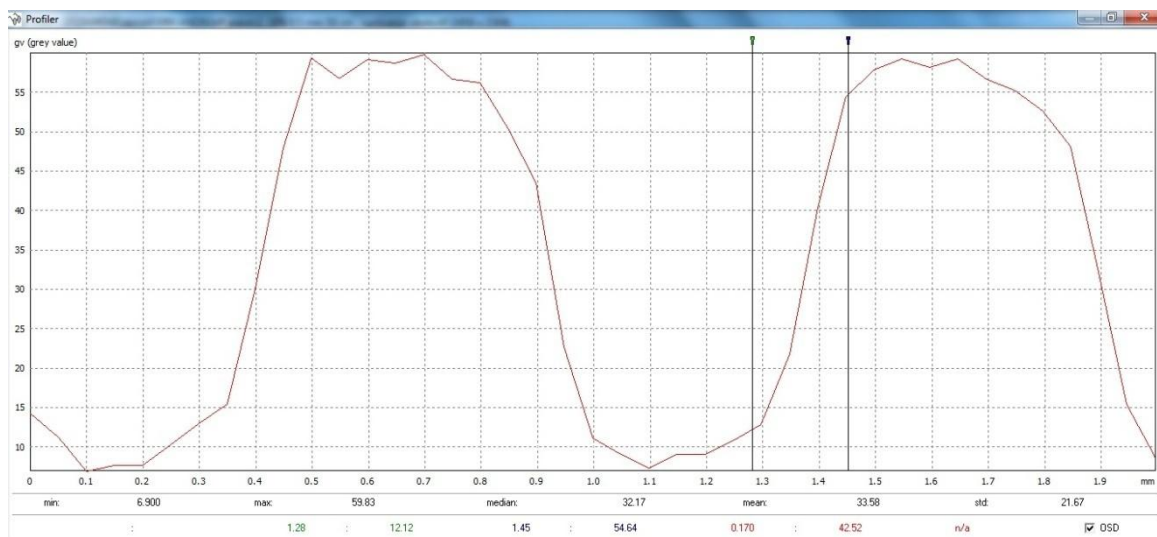
Slika 56. Zona 1



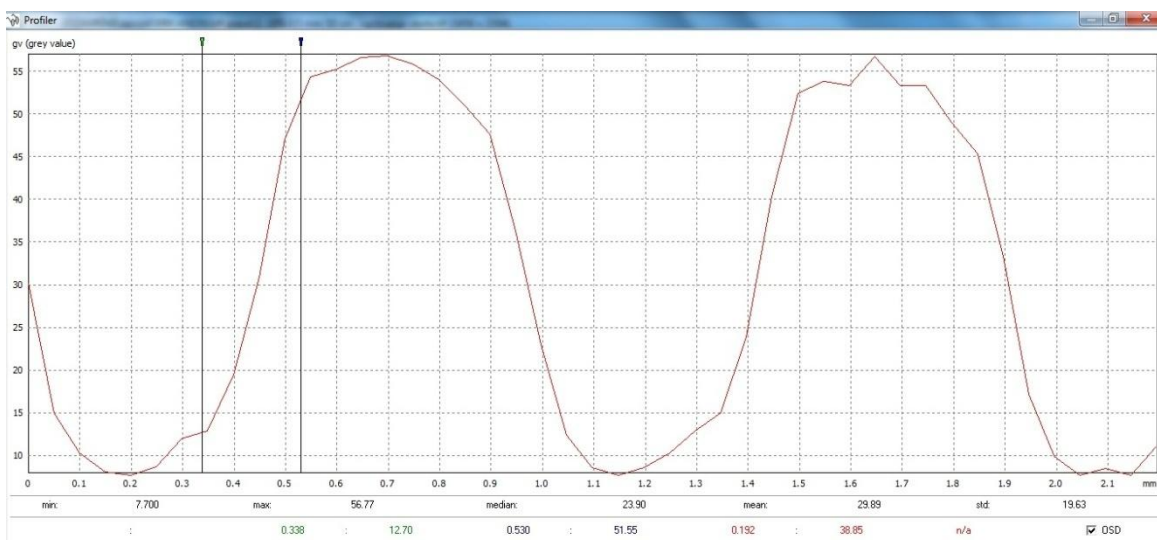
Slika 57. Zona 2



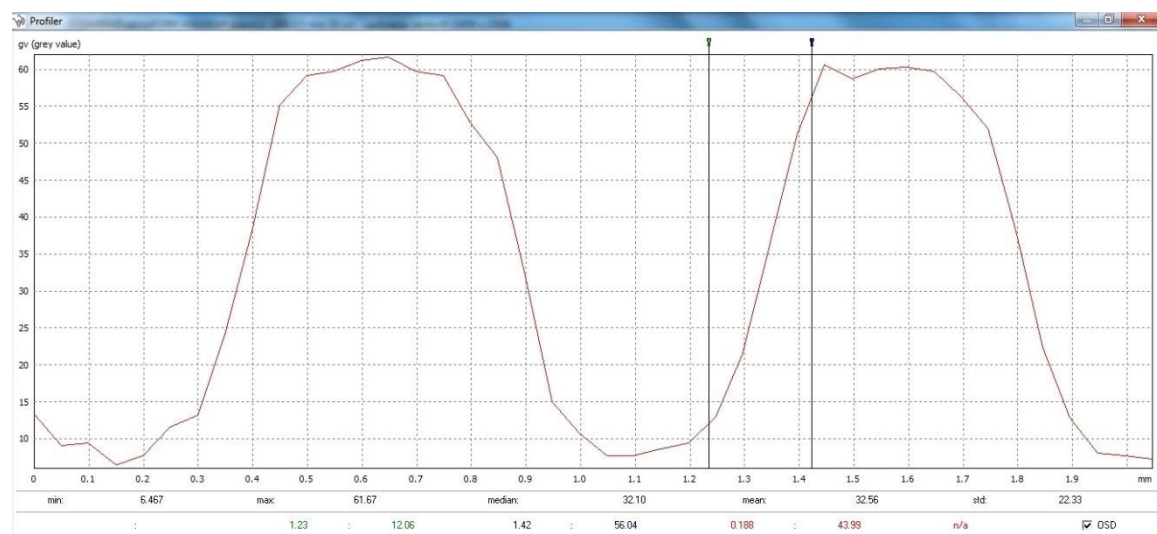
Slika 58. Zona 3



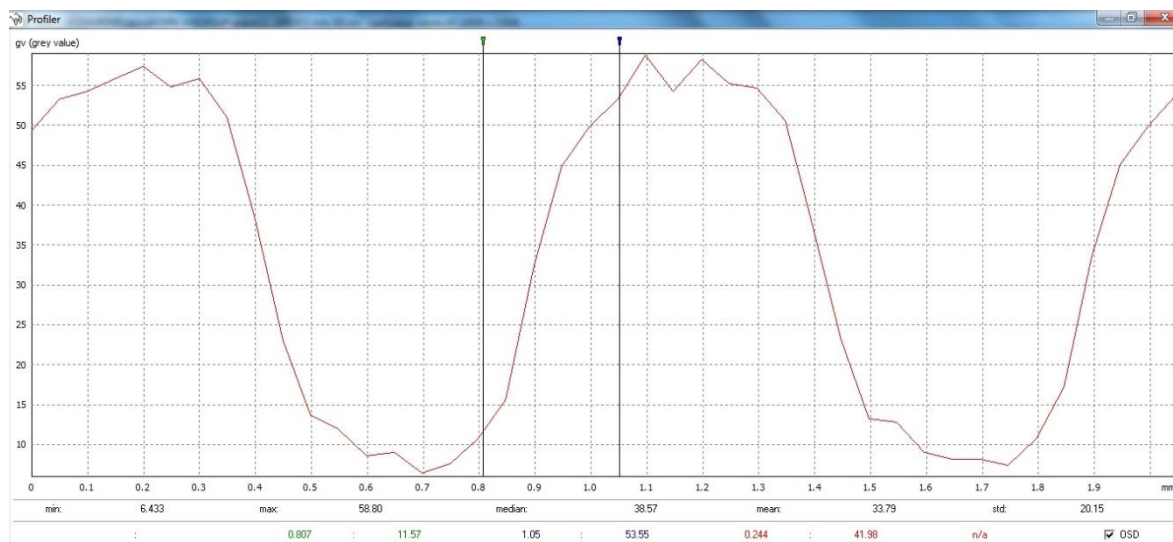
Slika 59. Zona 4



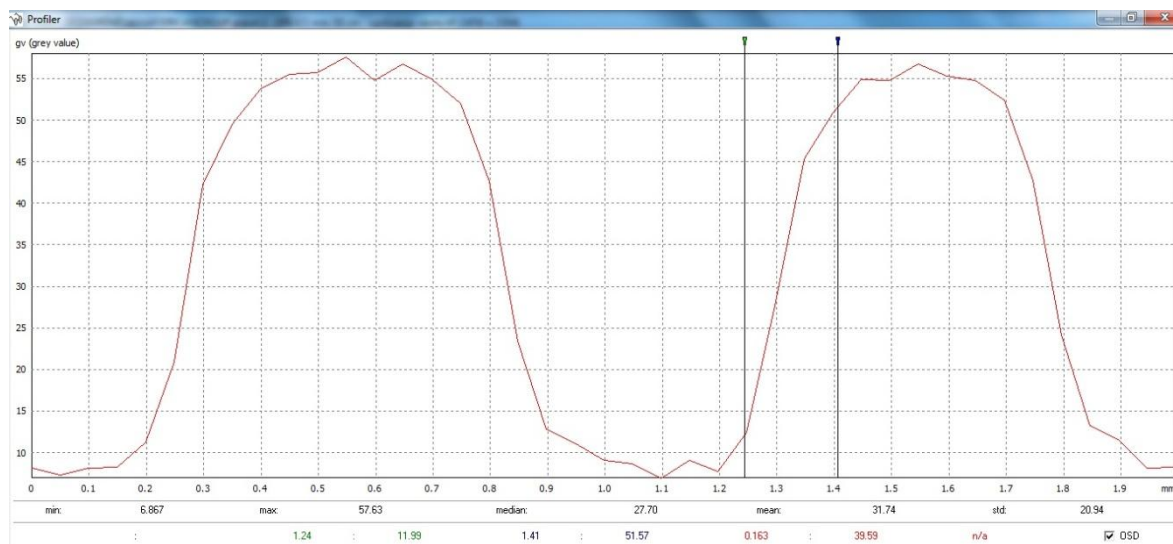
Slika 60. Zona 5



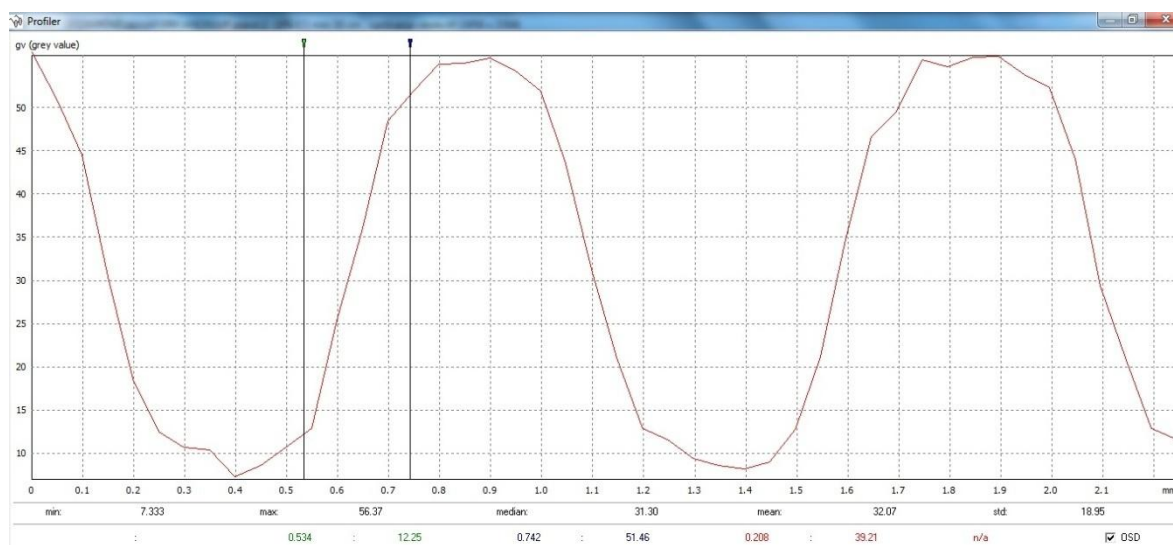
Slika 61. Zona 6



Slika 62. Zona 7



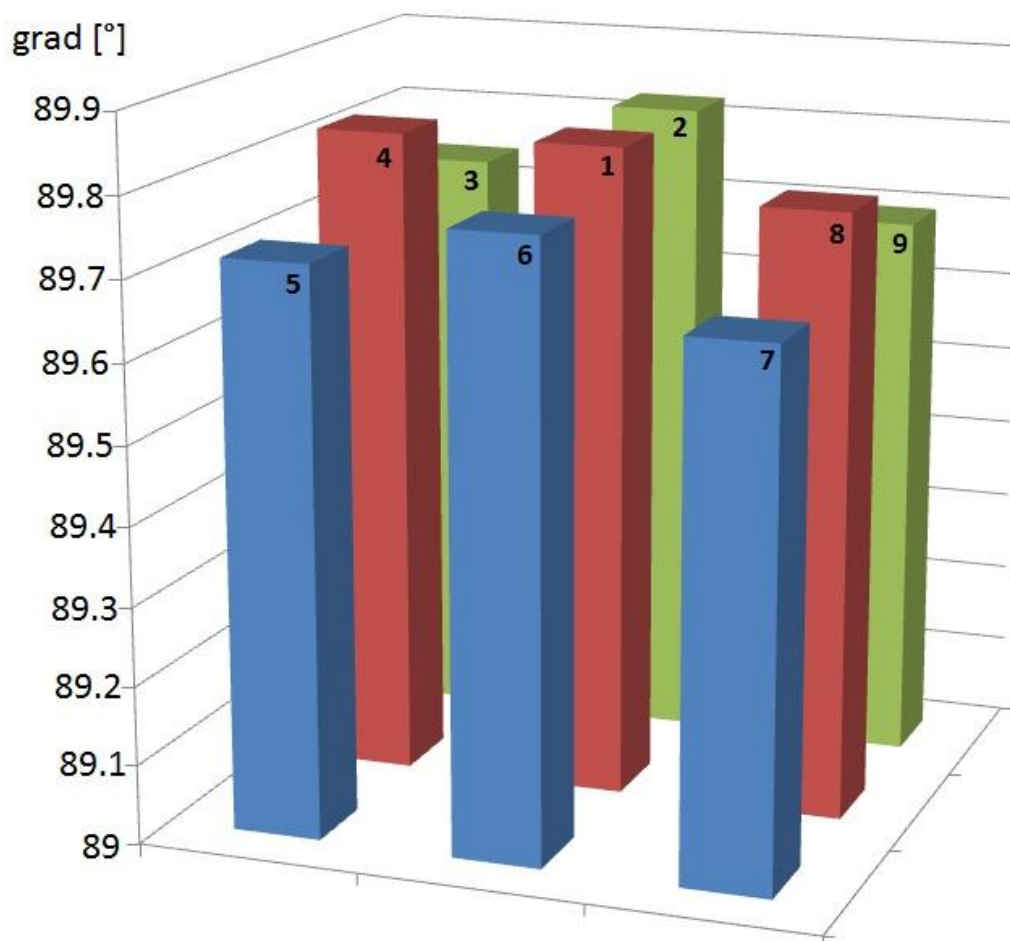
Slika 63. Zona 8



Slika 64. Zona 9

Tablica 6. Rezultati ispitivanja kvalitete leće

Zona	Gradijent	grad X/grad 1
1.	89.825°	1
2.	89.825°.	1
3.	89.741°	0.99906
4.	89.771°	0.99939
5.	89.717°	0.99879
6.	89.755°	0.99922
7.	89.667°	0.99824
8.	89.764°	0.99932
9.	89.696°	0.99856



Slika 65. Prikaz rezultata promjene gradijenta po zonama

4. ZAKLJUČAK

U radu su analizirani utjecajni parametri pri vizualnom ispitivanju:

- udaljenost,
- kut,
- kontrast,
- osvijetljenost,
- kvaliteta leće.

Analizom rezultata moguće je zaključiti sljedeće:

- Povećanjem udaljenosti od ispitnog uzorka dolazi do promjene u povećanju slike što u konačnici utječe ne samo na ukupnu rezoluciju slike već i na razaznavanje detalja na slici.
- Porastom kuta promatranja smanjuje se dubinska oštrina što utječe na smanjenje razlučivosti detalja u područjima slike udaljenijim od mjesta fokusa.
- Kontrast između podloge i signala analizirali smo pomoću CNR-a. Dobili smo rezultate da povećanjem postotka sive u podlozi smanjuje se kontrast i CNR, te dolazi do otežanog raspoznavanja detalja na slici.
- Razinu osvijetljenosti također smo analizirali pomoću CNR-a. Smanjenjem osvijetljenosti površine ispitnog uzorka smanjuje se kontrast i CNR, te dolazi do otežanog raspoznavanja detalja na slici.
- Predloženi način ispitivanja kvalitete leće ukazuje na nejednolikost postizive razlučivosti detalja po površini slike, te potrebom za tom vrstom karakterizacije optičkog sustava.

Analiza optičkog sustava koji se koristi pri vizualnoj kontroli potrebna je za održavanje što manje mjerne nesigurnosti, zbog što boljeg uočavanja indikacija i jasno vidljive razlike između šuma i signala.

5. LITERATURA

- [1] Alex Ryer: Light Measurement Handbook ©, International Light Inc, 1998.
- [2] Ivan Samardžić: Kontrola kvalitete zavarenih spojeva, metode ispitivanja bez razaranja www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/tii/kbr_met.html , preuzeto 28. siječnja 2014.
- [3] Bernoullies: RT Film Making a Radiograph, 2011.
http://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:RT_Film_Making_a_Radiograph.jpg , preuzeto 30.siječnja 2014.
- [4] Energovizija, Termografija <http://www.energovizija.si/termografija.html> , preuzeto 30.siječnja 2014.
- [5] Mold testing, Visual mold inspection <http://www.driritetampa.com/restoration-services/mold-testing> 30.siječnja 2014.
- [6] Transition metal complexes and color <https://www.wou.edu/las/phyci/ch462/tmcolors.htm> , preuzeto 03. veljače 2014.
- [7] Rajka Jurdana Šepić: Fizika 2, e-škola www.phy.uniri.hr/~jurdana/1geometrijska.pdf preuzeto 03. veljače 2014.
- [8] Camera testing resolution charts explained, <http://www.techradar.com/news/photography-video-capture/cameras/camera-testing-resolution-charts-explained-1027585> , preuzeto 10.veljače 2014.
- [9] Modulation transfer function interactive java tutorials ,
<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/mtf/frequency/> , preuzeto 10.veljače 2014.
- [10] Canon , <http://www.canon.co.uk/> , preuzeto 10 veljače 2014.
- [11] Damir Markučić: NDT metode, Zavarivanje i montaža, 2011.
- [12] Damir Markučić: Vizualna metoda, predavanja i vježbe